

# ハウス暖冷房に 地中熱ヒートポンプの 導入をお考えの皆様へ



「施設園芸における地中熱の効率的提供方法の開発」研究グループ  
(農林水産省委託プロジェクト研究「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」)



# 目次

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| I. はじめに                                                                   | 2  |
| II. 用語解説                                                                  | 3  |
| III. ヒートポンプの基本原理                                                          | 4  |
| IV. 地中熱ヒートポンプ・空気熱源ヒートポンプ・燃油暖房機                                            | 5  |
| V. よくある質問と回答                                                              |    |
| ① 地中熱ヒートポンプを導入するための初期投資はどの位かかり<br>ますか？                                    | 7  |
| ② 地中熱ヒートポンプは、どのくらいの省エネと暖房運転コスト削減<br>が期待できますか？                             | 9  |
| ③ 施工は自分でできますか？                                                            | 10 |
| ④ 温冷水での局所加温、局所冷却に地中熱ヒートポンプを利用す<br>るにはどうすればいいですか？                          | 12 |
| ⑤ 地中熱のいろいろな採熱方式の特長を教えてください。                                               | 14 |
| ⑥ 自分の地域での地中熱利用の適用性を知ることができますか？                                            | 15 |
| ⑦ どの資材がベストでしょうか？                                                          | 16 |
| ⑧ 地中熱ヒートポンプのメーカーを教えてください。                                                 | 16 |
| ⑨ 地中熱ヒートポンプシステムで、作物への局所加温／冷却とハ<br>ウス内の冷暖房に同時に利用できますか？                     | 17 |
| ⑩ ハウス周辺の融雪に使えますか？                                                         | 18 |
| ⑪ 現在、重油暖房を行なっていますが、地中熱ヒートポンプへの転<br>換を考えています。注意すべき点は何ですか？                  | 18 |
| ⑫ 大面積のハウスに地中熱ヒートポンプを導入する場合、ヒートポ<br>ンプユニットはどの程度の能力のものを何台くらい導入すべきで<br>しょうか？ | 20 |
| ⑬ 地中熱の採熱に利用する不凍液は農地や作物に害を及ぼしま<br>せんか？                                     | 20 |
| ⑭ 地中に空気を送って冷温・熱を得るシステムは施設園芸で利用<br>できますか？                                  | 22 |
| ⑮ より詳しい情報はどこで入手できますか？                                                     | 23 |
| VI. 設置・栽培事例紹介                                                             |    |
| 1. 寒冷地(アルストロメリア)                                                          | 24 |
| 2. 温暖地(トマト)                                                               | 26 |
| 3. 温暖地(鉢物)                                                                | 28 |
| 4. 暖地(ナス)                                                                 | 29 |
| 執筆者一覧                                                                     | 30 |

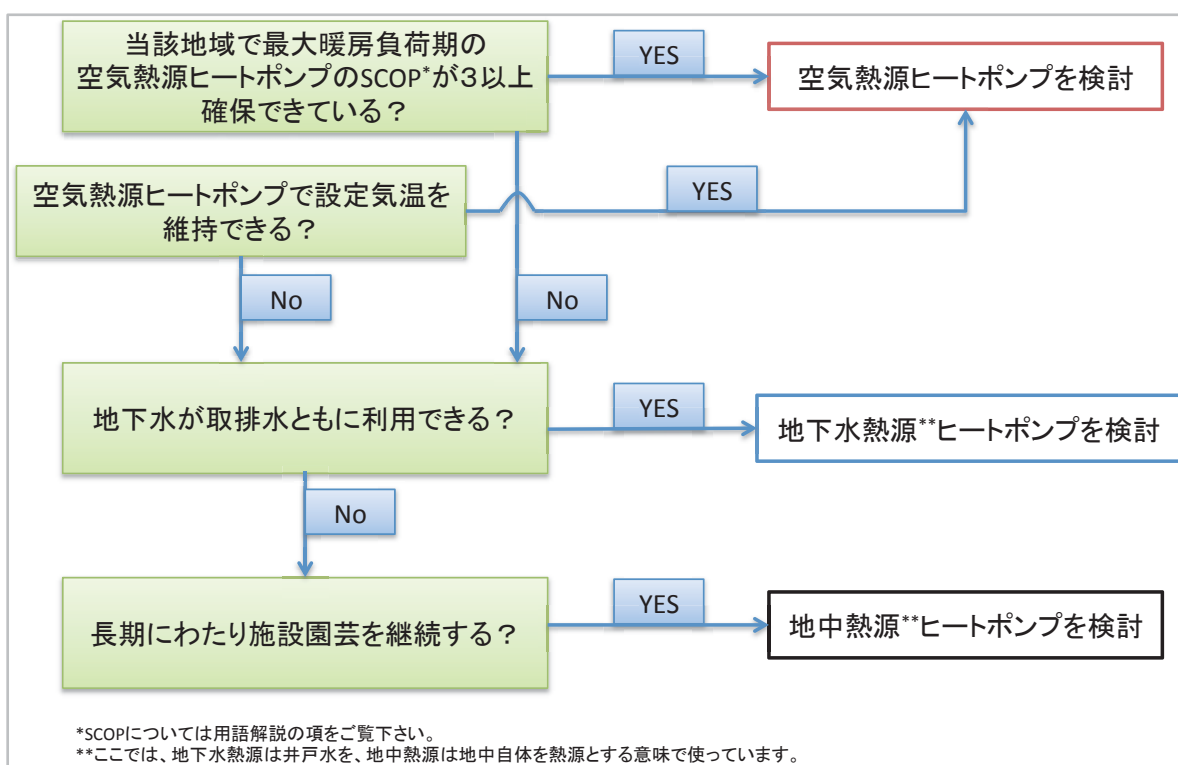
# I . はじめに

全国各地でヒートポンプの施設園芸への導入が目立つようになってきました。施設園芸に導入されるヒートポンプは空気を熱源とするタイプが主流ですが、暖房時期に気温が低いと室外機のデフロスト(霜取り)運転のため効率が低下することが知られています。一方、年間を通して水温が変わらない地下水を熱源とするヒートポンプはデフロストの懸念なく安定した効率を得ることができます。ただし、地下水の利用は、地域により制限されていることがあります。地中自体を熱源とする場合は、屋外空気よりは温度が安定しており、地下水のような地域的な制約も少ないと期待されます。ただし、施設園芸での利用例は極めて少なく、可能性は未知数でした。

そこで、農林水産省委託プロジェクト研究「地域資源を活用した再生可能エネルギーの生産・利用のためのプロジェクト」のうち「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(熱プロ)」において、施設園芸における地中熱の効率的提供方法の開発に取り組んでいます(平成 25～27 年度)。

地中熱ヒートポンプの導入をお考えの皆様に向け、本プロジェクトの「施設園芸における地中熱の効率的提供方法の開発」担当者がこれまでの研究結果を中心に情報をまとめました。また、一部、協力メンバーにも執筆をお願いしました。ご検討の端緒にいただければ幸いです。なお、まだ研究実施中であり、途中版であることに十分ご注意ください。(順次、改訂します。)

## フローチャート「地中熱ヒートポンプを検討する余地があるか？」



## Ⅱ．用語解説

### 採熱管

管内の循環液を介して地中と熱交換（採熱や放熱）させる管。

### スリンキー方式

径 25mm 前後のポリエチレンチューブなどの採熱管をループ状（スリンキー状）に配したもの。

### シート型熱交換器

径 6mm 程度のチューブを 100 本以上並列配置した、シート状の熱交換器

### トレンチ

採熱管を埋設するための溝。

### ボアホール方式

直径 120～150mm 程度、深さ数十～百数十 m 程度の掘削孔（ボアホール）に同軸パイプやU字状のチューブを挿入して熱交換器とする方式。

### 圧縮機（コンプレッサー）

冷媒を圧縮して高温高圧に変化させる。

### COP（成績係数）

出力を圧縮機消費電力で除した値。熱量基準の効率。数値が高いほど性能が良い。

### SCOP（システム成績係数）

出力をシステム全体の消費電力で除した値。数値が高いほど性能が良い。

## Ⅲ. ヒートポンプの 基本

通常、熱は暖かいものから冷たいものへ移動します。

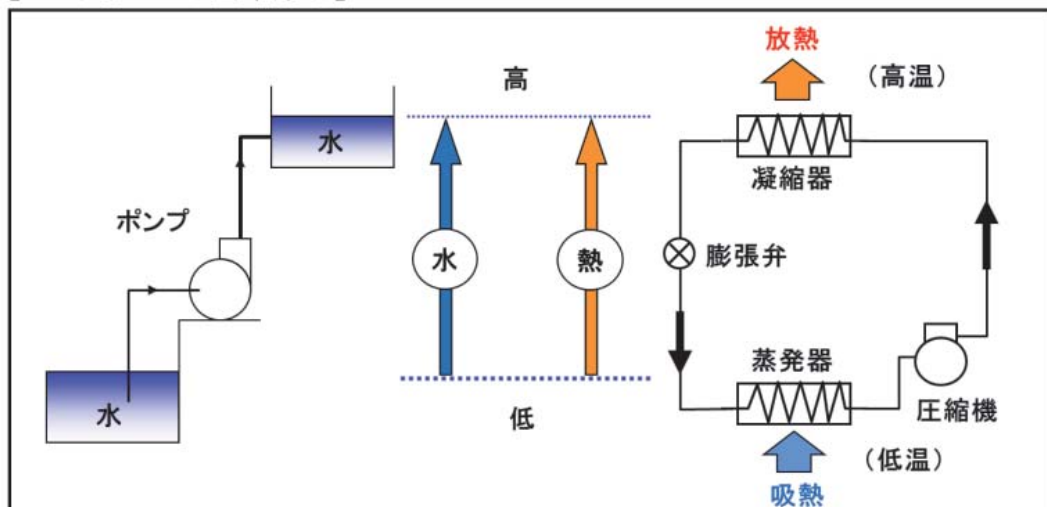
これと全く反対の動きをするのがヒートポンプで、空気中の熱を汲み上げ温度の低い所から高い所へ移動させるポンプの役割をすることからヒートポンプ(熱ポンプ)と呼ばれています。

これは、水を低い所から高い所に汲み上げるポンプの働きと同じ原理です。

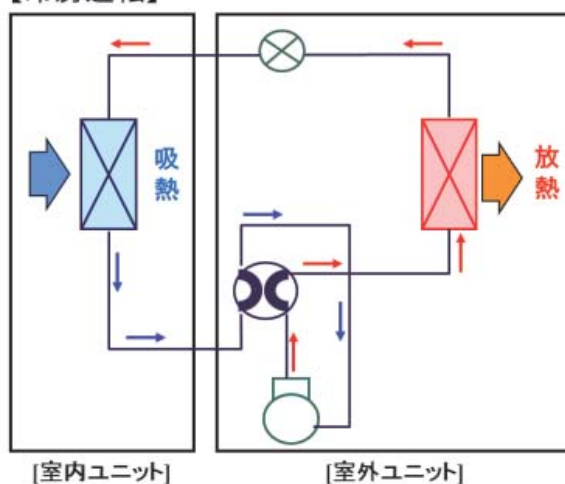
このヒートポンプの原理を利用しているのがエアコンで、圧縮機・凝縮器・膨張弁・蒸発器等の部品で構成されています。

エアコンは熱を移動させる媒体として冷媒を利用しており、その状態を変化(高圧⇄低圧, 気体⇄液体)させることにより、室内を暖めたり冷やしたりしています。

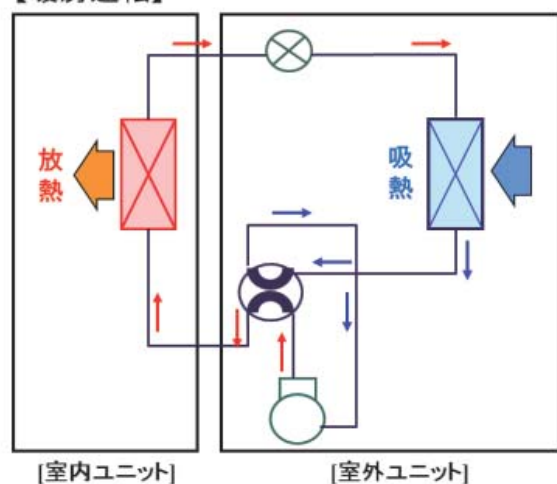
【ヒートポンプの基本原理】



【冷房運転】



【暖房運転】



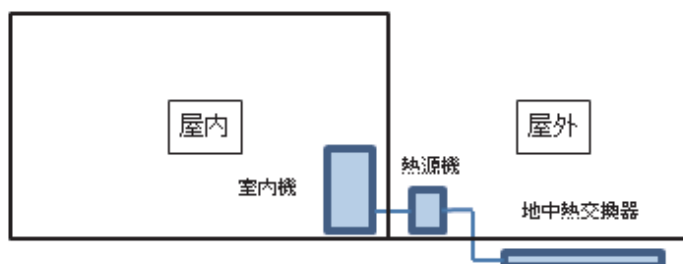
## IV. 地中熱ヒートポンプ・空気熱源ヒートポンプ ・燃油暖房機

地中熱ヒートポンプとは、年間を通して比較的安定した地中熱を利用した冷暖房システムです。冬期は外気より温度が高く、夏期は外気より温度が低い地中熱を利用することで、省エネに優れた運転が可能です。特に、機器性能に大きな影響を及ぼす冬期の熱交換器への着霜がないため、安定した暖房運転ができることが大きな特長です。冷房期は地中に排熱するため、より環境に良く都市のヒートアイランド対策に適しています。上記のメリットより、住宅や商業施設、公共施設等の業務用の冷暖房システムとして注目されています。また最近では施設園芸での研究も行なわれるようになってきています。

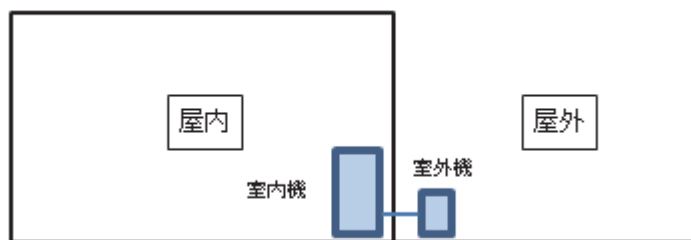
空気熱源ヒートポンプとは、空気中の熱を利用したシステムです。室内機と室外機を冷媒でつなぐ簡単な機器構成となっており、エアコンとして一般住宅等に広く普及したシステムです。施設園芸で導入されるヒートポンプの多くが空気熱源です。冬期の熱交換器への着霜があり、除霜（デフロスト）運転時には暖房が止まるため、ハウス内温度が低下し、作物へ影響するとともに、運転エネルギー効率の低下が心配されます。特に、寒冷地や積雪地域では、積雪や低外気温に配慮した検討が必要です。

燃油暖房機とは、A 重油や灯油などを燃焼し加熱した空気を供給する暖房システムです。冷たい外気の影響を受けず、安定した暖房運転が可能です。

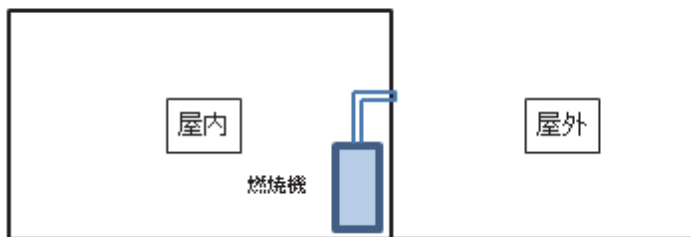
【地中熱ヒートポンプ】



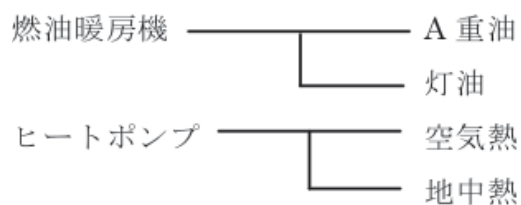
【空気熱源ヒートポンプ】



【燃油暖房機】



ヒートポンプ・燃油暖房機の分類や特徴を以下にまとめます。



### 燃油暖房機のメリット

設置時のイニシャルコストが安い。

### 燃油暖房機のデメリット

化石燃料を使用するため、CO<sub>2</sub>排出量が多く環境に悪い。近年の燃油高騰でランニングコストが高い傾向。

### ヒートポンプのメリット

ランニングコストが低く、CO<sub>2</sub>排出量が低い  
ため環境に良い。

### ヒートポンプのデメリット

イニシャルコストが高い。

### 地中熱ヒートポンプ・空気熱源ヒートポンプ・灯油暖房機の特長比較

|           | ランニングコスト | イニシャルコスト        | 環境性 | 温風温度   |
|-----------|----------|-----------------|-----|--------|
| 地中熱ヒートポンプ | ◎        | △ <sup>※1</sup> | ◎   | 30～40℃ |
| 空気熱ヒートポンプ | ○        | ○               | ○   |        |
| 灯油燃焼機     | △        | ◎               | △   | 40～50℃ |

※1 導入する際に補助金制度が適用できる可能性があります。

## V. よくある質問と回答 (Q & A)

### Q 1. 地中熱ヒートポン プを導入するた めの初期投資はど の位かかります か？

#### A 1. 見積り方

暖房のために必要な年間最大熱量の 1/2 の能力の地中熱ヒートポンプと同じ能力の灯油あるいは重油暖房機を組み合わせるハイブリッドシステムがコスト面で有利です。約 50,000kcal/h の暖房能力の暖房機で対応できている 150 坪 (500m<sup>2</sup>) のハウスに必要なヒートポンプ能力は、約 10 馬力 (30kW) となります。

ハウス用のヒートポンプは、下図に示すように、大きくは3つに分類されます。導入しようとする地域の地盤状況、暖房方法、栽培する作物などによって異なりますが、ヒートポンプ及び設置工事費は、いずれも概ね 10 万円/kW (300 万円/10 馬力) 程度である例が多いようです。

地中熱ヒートポンプは熱源が必要です。熱源としては、一般に、井戸から汲み上げた水、地中に埋めたパイプ内を循環させた水や不凍液などが使われます。このうち、井戸水を利用できれば、一般にコストパフォーマンスが高くなります。井戸水の成分にもよりますが、一般に井戸水の熱を熱交換器を通じて不凍液に受け渡すシステムの初期コストは 100 万円/10 馬力程度です。

井戸水を利用できない場合には、地中熱の熱源としては、深さ 100m 程度の孔を掘削し、熱交換用パイプを埋め込んだ熱交換井 (ボアホール) が多用されています。ただし、掘削コストが高いことから、これまでのところ農業分野での利用例は多くありません。そこで、近年は、地表下 1.5m 程度に熱交換用パイプを埋設する水平方式 (浅層採熱) の利用が注目されつつあります。バックホウや溝掘機などを利用できる農家が、設置溝を自前で掘る場合、地中熱交換のための初期コストは熱交換用パイプ、パイプ接合専用継ぎ手 (EF 継ぎ手)、工具レンタル費などが主となるので、500 万円/10 馬力程度 (農工研、つくば市での実績) です。

#### A 1. 具体的な内訳目安例

当研究では、設置場所が採熱方式が北海道で、25kW 出力の地中熱ヒートポンプを設置しました。ボアホールの場合 1,535 万円、浅層採熱の場合 925 万円となりますが、開発中の技術であるため、あくまでも目安となります。(表 1)

表 1 初期投資内訳(目安)(単位:円)

|        | ボアホール (600m) | 浅層採熱 (45m×8 系統) |
|--------|--------------|-----------------|
| 掘削費    | 900 万        | 135 万           |
| 配管部材   | 135 万        | 215 万           |
| 掘削労務費  | 35 万         | 40 万            |
| 不凍液    | 80 万         | 140 万           |
| HP 据付費 | 40 万         | 50 万            |
| HP     | 280 万        | 280 万           |
| 循環ポンプ  | 5 万          | 5 万             |
| 電気工事   | 60 万         | 60 万            |
| 合計     | 1535 万       | 925 万           |

(注)ボアホールと浅層採熱で掘削法や熱交換パイプの長さが異なるため、掘削工事費、配管部材、掘削労務費、不凍液のコストが異なる。

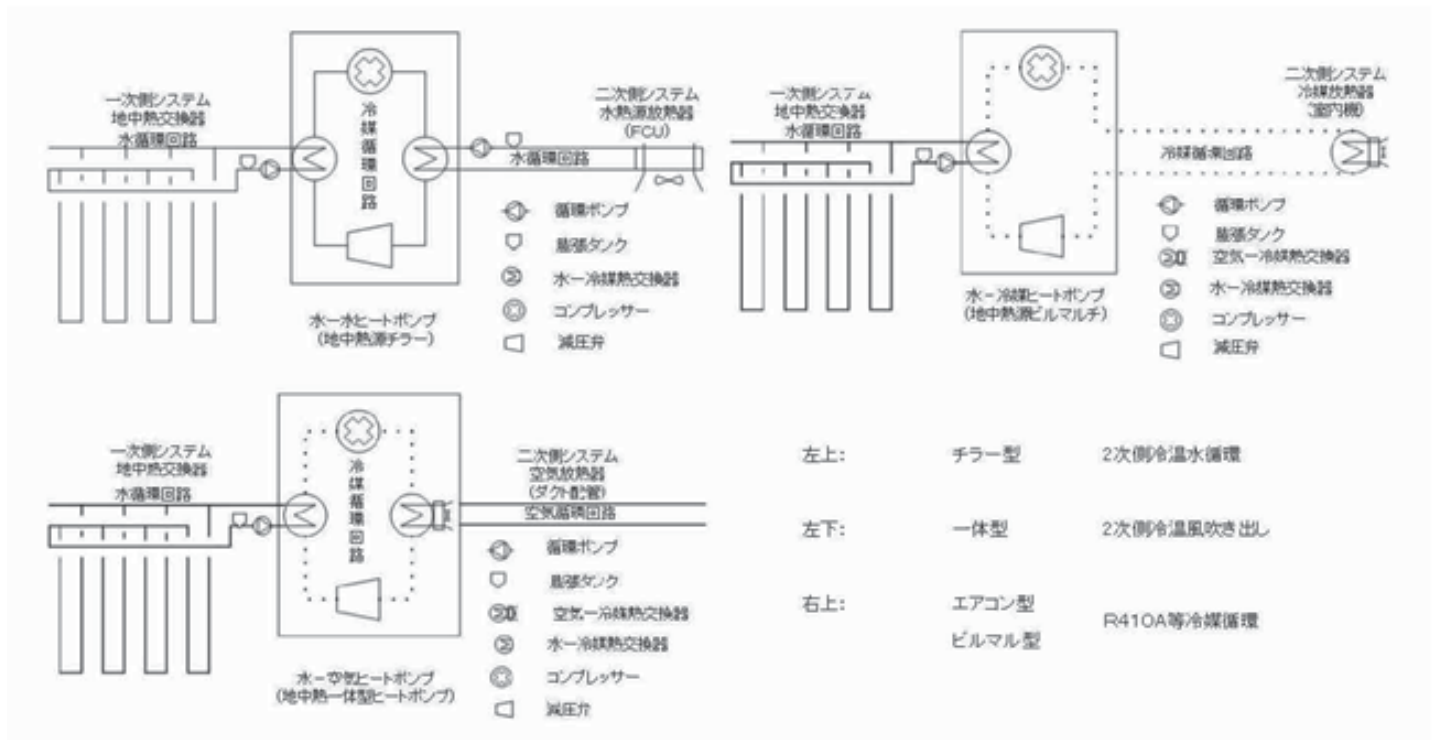


図 1 農業ハウス用のヒートポンプ(3つに分類)

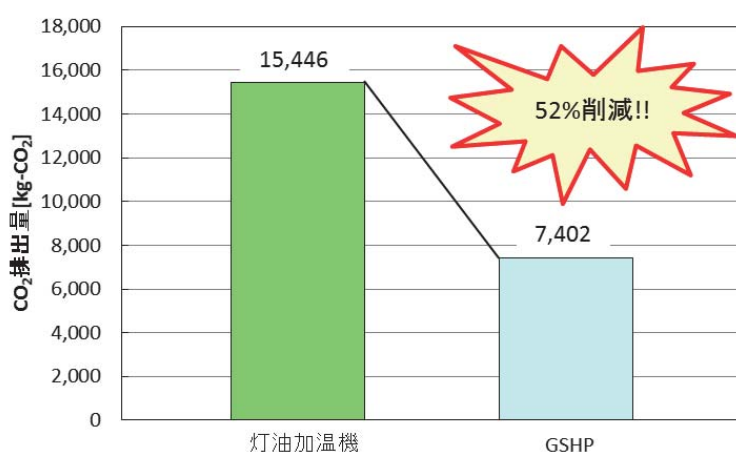
## Q2. 地中熱ヒートポン プは、どのくらい の省エネと暖房 運転コスト削減が 期待できます か？

### A2. 実証

北海道新篠津村にて試験したところ、対照ハウスの灯油加温機のランニングコストの 53%削減することができました。また CO<sub>2</sub> 排出量は約 52%削減できました(表 2-1)

表 2-1 暖房期ランニングコスト、CO<sub>2</sub> 排出量  
(2014/12/13～2015/3/13)

|                                          | 灯油加温機    | 浅層地中熱利用<br>ヒートポンプ |          |
|------------------------------------------|----------|-------------------|----------|
|                                          |          | 1 号機              | 2 号機     |
|                                          |          | SCOP3. 2          | SCOP3. 8 |
| 灯油単価[円/L]                                | 90. 2    | －                 | －        |
| 灯油消費量[L]                                 | 5765     | －                 | －        |
| 電気基本料金[円]                                | 7, 582   | 18, 954           | 18, 954  |
| 電力量単価[円<br>/kWh]                         | 16. 65   |                   |          |
| 電力消費量[kWh]                               | 2, 030   | 8, 781            | 4, 652   |
| ランニングコスト<br>[円]                          | 560, 386 | 261, 567          |          |
| CO <sub>2</sub> 排出量[kg-CO <sub>2</sub> ] | 15, 446  | 7, 402            |          |



## A2. 試算推定

2009～2011 年に実施した「低炭素時代にむけた自然エネルギー利用率を最大限に高める施設栽培用ヒートポンプシステムの開発」（農水省新たな農林水産政策を推進する実用技術開発事業、<http://pursue.dc.affrc.go.jp/form/fm/naro095/heatpump>）では、SCOP は空気熱源ヒートポンプで 3 前後（着霜が頻発する場合は 2 強になることも。）、地下水ヒートポンプで 4 弱でした。地中熱ヒートポンプの SCOP はその中間の 3.5 程度が期待され、それは熱プロにおける北海道および東京での試験結果とほぼ符合しています。参考のため SCOP2～4 での運転コストの試算比較を表 2-2 にまとめました。SCOP が 3 から 3.5 にアップすると燃料代として 15%程度の省エネ効果と推定されます。

表 2-2 SCOP2～4 での運転コストの試算比較（500 m<sup>2</sup> ハウス\*、年間）

| SCOP                                     | ヒートポンプ                  |           |         |         | A 重油暖房機   |
|------------------------------------------|-------------------------|-----------|---------|---------|-----------|
|                                          | 2.0                     | 3.0       | 3.5     | 4.0     |           |
| 料金換算係数                                   | 25 円/kWh+18,000 円（基本料金） |           |         |         | 100 円/L   |
| 電力(重油)使用量<br>[kWh] ([L])                 | 57,644                  | 38,428    | 32,941  | 28,822  | 11,794    |
| 運転コスト [円]                                | 1,497,334               | 1,016,972 | 879,728 | 776,794 | 1,179,400 |
| CO <sub>2</sub> 排出量[kg-CO <sub>2</sub> ] | 28,244                  | 18,831    | 16,141  | 14,122  | 31,963    |

\*160m<sup>2</sup> ハウス（つくば市，暖房設定気温 15℃，暖房負荷 830MJ/m<sup>2</sup>年）での試算を 500m<sup>2</sup>ハウスに換算。

## Q3. 施工は自分で できますか？

### A3.

地中熱ヒートポンプは硬質ポリエチレンパイプやシート状の G カーペット等の地中熱交換器を土壤中に埋設する必要があります。鉛直型（ボアホール型）の場合には、深さ数十 m の縦穴を掘らないといけないため、ボーリング（掘削）用の機材が必要で、自分で施工するのは困難です。一方、水平型の場合は、深さ 1～2 m の浅層の穴を掘り、そこに熱交換器を埋設するため、暗渠の施工等で用いられるユンボ（パワーショベル）で施工できます。そのため、重機の扱いに慣れた方であれば、自力で熱交換器を埋設できます。

水平型の場合、熱交換器を縦に埋設する場合と横に埋設する場合があります(図3)。縦に埋設する場合は、20～30 cm 程度の幅のバケットをバックホウに取り付け、深さ1.5～2 m 程度の穴(溝、トレンチ)を掘っていきます。穴の幅が狭いため、土の掘削量が少なく、施工が簡単のように思われがちですが、熱交換器を入れるのに手間取る場合があることや、人が中に入って作業しているときに崩れると生き埋めになるなどのリスクがあります。一方、熱交換器を横に置く場合は、幅1 m で、深さ1.5～2 m 程度の穴を掘る必要があります。穴の幅が広くなるので、幅広のバケットを使った方が作業効率が上がります。土工量は多くなりますが、熱交換器の設置作業は縦置きの場合よりも楽になります。また、穴を掘る深さが同じで場合、横置きの方が深いところの熱を利用できるため、熱交換器の埋設面積が同じであれば、横置きの方が採熱効率が良くなります。

横置き・縦置きともに、掘削後、土が崩れないように注意する必要があります。掘削後に相当量の雨が降ると、土が崩れやすくなることに加え、水はけの悪い圃場ではせつかく掘った穴に水が溜まり、作業が進まなくなる場合があります。そのため、施工はなるべく迅速に行う必要があります。翌日に豪雨が予想されるようなときは、施工を避けるべきでしょう。1.5 m 以上の深さの穴を掘る場合は、一般的には危険回避のために土留めをする必要があります。また、寒冷地等で、夜間に気温がマイナスになるような場合は、凍結融解により穴の壁面に霜柱ができて、穴が崩れやすくなる場合があります。このような地域では、温暖な時期に施工した方が効率的に作業できます。

地中に埋設した熱交換器とヒートポンプの接合など、その他必要な施工については、専門的な知識が必要なため、業者に任せた方が良いでしょう。

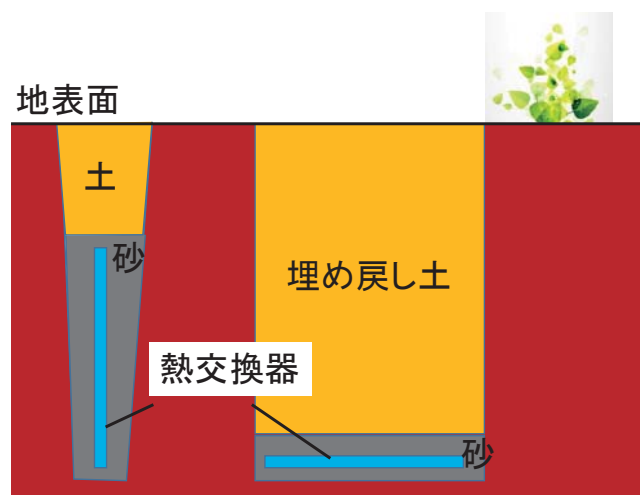


図3 水平型熱交換器の埋設方法

## Q4. 温冷水での局所 加温，局所冷却 に地中熱ヒートポ ンプを利用するに はどうすればいい ですか？

### A4. 栽培ベッド向け

植物の成長部分を集中的に冷暖房しランニングコストを大幅に削減する局所温度管理法は、すでにバラやイチゴ等では実用化されています。シクラメンについても、地上部よりも地下部を重点的に冷却することで、根量の増加とともに、地上部の生育も促進されることから、局所温度管理法は有効であることが明らかとなっています。また、必要な温度域が異なる品目を同一のハウス内で栽培する場合、例えば、ポインセチアだけを局所加温し、ペチュニアは加温しないなどの使い方が可能となれば、局所温度管理の利点が活かせると考えられます。

局所温度管理を行う場合、水－水式のヒートポンプの活用は、熱媒体が水であり熱の輸送が容易であるため最適な手段です(図4-1)。施工が容易かつ低コストなポリエチレンパイプ(25mm, スリンキー方式)、或いはシート型の採熱パイプ(G-カーペット, 0.9m×5.6m)を地中に埋設し、地中との熱交換を行います。地中から採熱した熱を地中熱ヒートポンプにより、地上部の熱交換器へと伝えます。一方、地上部の冷暖房のための熱交換には、2通りの方法があります。1つ目はシート型の熱交換器(アグリマット, 0.9m×6.05m, 30cm幅に40本の細いチューブ)を用いる方法、2つ目は直径φ16mm程度のポリエチレンパイプを用いる方法です。前者は、細いチューブが密に並んでいるため、栽培鉢を熱交換器の上面に直接配置することで、鉢の根域のみを加温・冷却することができます。一方、後者は切り花栽培等において植物体、或いは地温を直接温度制御したい場合に用います。温度制御する部位に温冷水が流れるパイプを配置することで、必要な部位のみを効率的に加温・冷却することができます。ただし、このように温度管理域を制限しても、暖房時に採熱を続けると、地中から熱が奪われ続け、温度の維持が難しくなるため、暖房負荷が大きい場合は、熱を外部から補う必要があります。その場合は、熱媒体が水である利点を活かし、太陽熱を効率よく簡易に集熱できる装置を導入することも可能です(図4-1)。実際、このような集熱システムを活用することで、暖房で損失したエネルギーの4割程度を補うことができます。

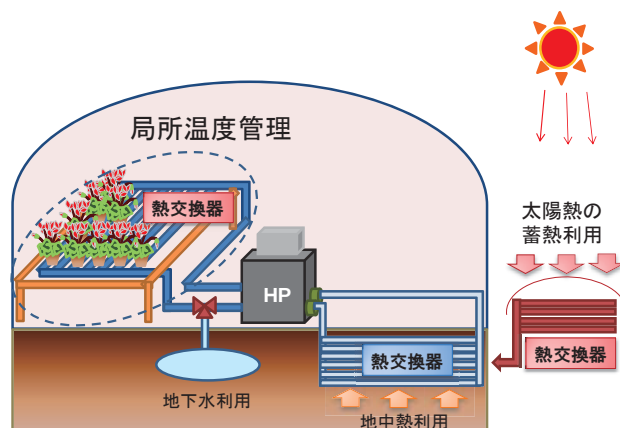


図4-1 水－水式のヒートポンプの活用による局所温度管理法 12

#### A4. 畝栽培向け

苗を定植する前に畝内にポリエチレン管を埋設します。アルストロメリアの事例を紹介します。

栽培ベッド上にポリエチレン管(20A)1往復を置いて、片側から埋設します。以下は管理機や手作業で埋設している例です。栽培ベッドへの配管図を以下に示します。パイプの埋設深度は10cmを目安にしています。

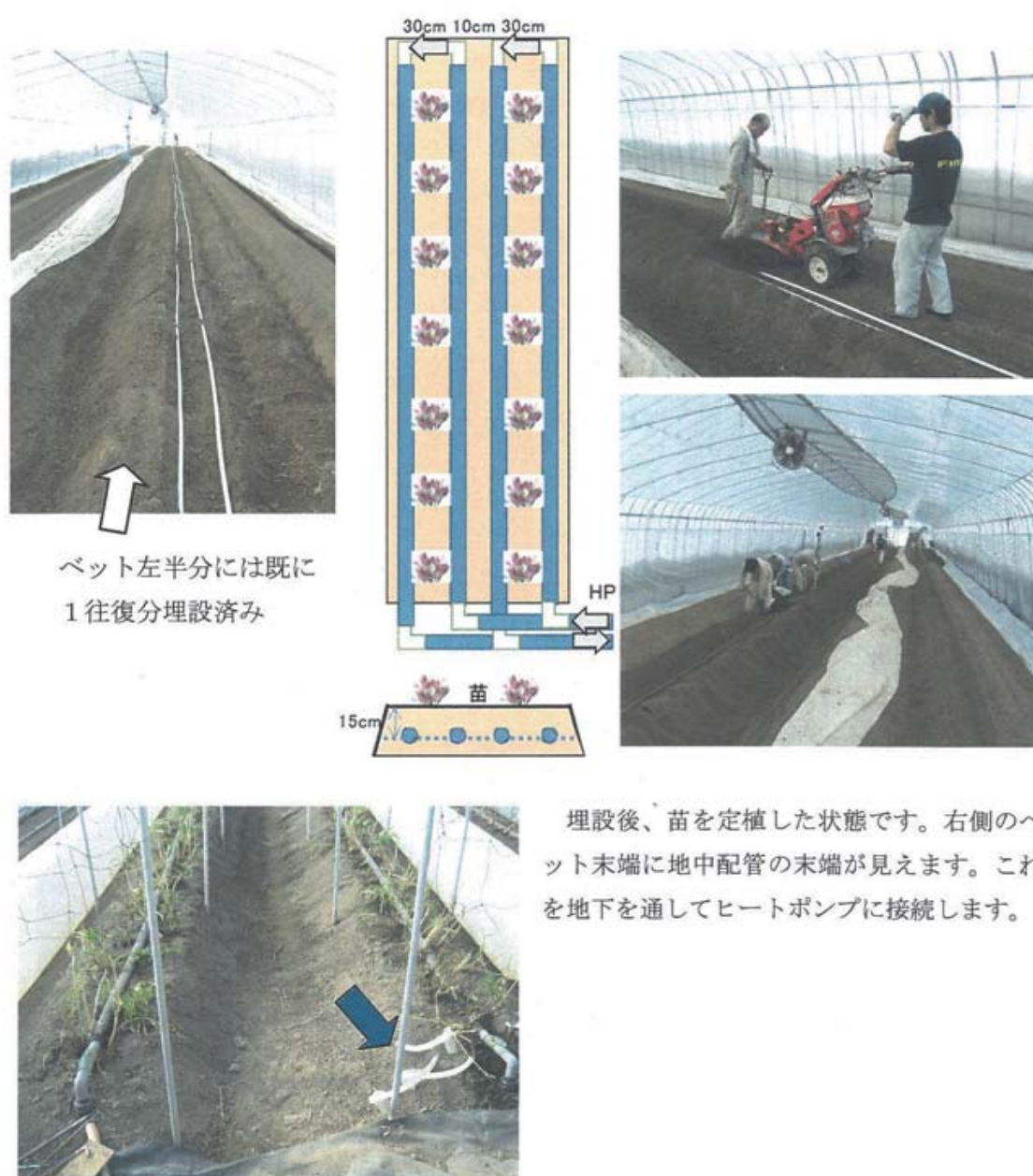


図 4-2 アルストロメリアでの局所温度管理法

## Q5. 地中熱のいろいろな採熱方式の特長を教えてください。

A5.

熱交換井の種類については、ヒートポンプの能力や採熱に利用する敷地面積、地質構造などを考慮して選択します。熱交換器埋設のために大面積が確保できる場合は浅層方式も候補になりますが、都市部のように十分な面積が確保できない場合は鉛直方式が適しています。一方、地盤が固く掘削が困難な場合は浅層方式が適しています。

浅層方式の場合は、深さ1～2m程度のトレンチをパワーショベルなどで掘削し、ポリエチレン製パイプなどを敷設します。重機を操作できる場合は、ある程度自分で施工することで熱交換器の設置に必要な費用を削減できるメリットがあります。浅層方式は、コスト低減には極めて有用ですが、浅層であることから、大気(気温)の温度変化の影響を受けやすく、熱伝導率が低い点に留意する必要があります。熱交換器の形状は、ラジアルウェル、水平ループ、コイル(俗称 スリンキー)及びシート型があります。

一方、鉛直方式は専用の機械が必要なため、自分で施工することは難しいですが、深層の安定した熱源を使うことで効率的な冷暖房を行うことが可能です。

ヒートポンプの熱源として利用  
温度調節が可能で汎用性が高い

### ヒートポンプシステム

住宅・ビル等の冷暖房・給湯、プール・温浴施設の給湯  
道路等の融雪、農業ハウスの冷暖房など

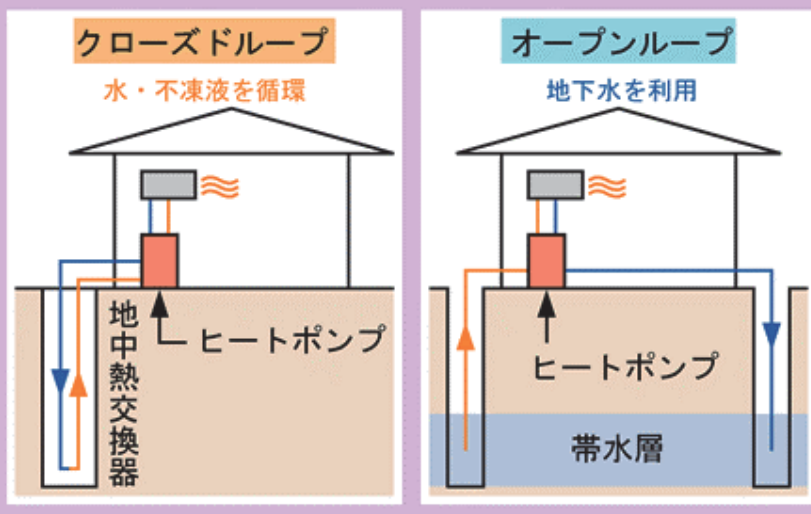


図 5-2 クローズドループとオープンループ

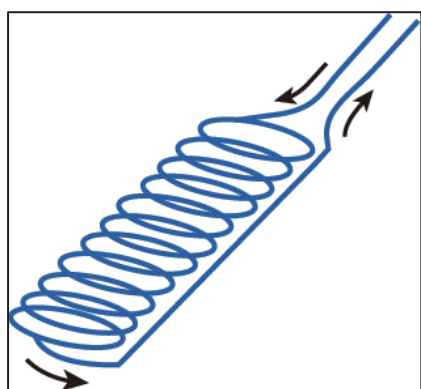


図 5-1 水平コイル型熱交換

熱交換器には、水や不凍液を循環させるクローズドループと、井戸水をそのまま利用するオープンループがあります。浅層方式はクローズドループのみとなりますが、鉛直方式ではいずれかの方式を選択することができます。どちらを選択するかは、その場所の地下水賦存量や地下水利用規制によって決まります。オープンループシステムには、地下水を直接ヒートポンプに入れるタイプと、地下水と熱交換を行い、熱のみを利用するタイプがあります。地下水を直接ヒートポンプに使うタイプは高効率かつ安価なシステムですが、良質な地下水が豊富にあり、地下水の利用規制がない場合に限られます。クローズドループ型では、比較的設置の自由度が高く、ほとんどの地域で施工が可能です。熱交換器の設置のために 50～100m 深の縦孔(ボアホール)を専用の機械を使って掘削するのが一般的なため、掘削に伴う費用(初期コスト)がかかるという点がデメリットになります。

## Q6. 自分の地域での 地中熱利用の適 用性を知ること はできますか？

### A6.

地中熱ヒートポンプシステムの適用性を知るには、地質と地下水の情報を調べれば良いでしょう。地中熱ヒートポンプシステムの効率を左右するのは、設置する場所の地質の熱伝導率です。花崗岩などの固い岩盤では熱伝導率が  $2.0\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  程度ですが、粘土や砂、礫などの堆積層では  $1.2\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$  と、岩盤の 6 割程度の値となってしまいます。しかし、地下水の流れがあると、見かけの熱伝導率(有効熱伝導率)が高くなり、場所によっては固い岩盤以上の熱伝導率を示すことも珍しくありません。

地質情報を調べる場合、まずは設置予定地域の地質構造が砂や掘削が比較的容易な粘土、泥炭などか、固く掘削にエネルギーが必要な岩盤であるかを判断する必要があります。地質構造の違いにより、熱伝導率や地下水の賦存形態、掘削方法も異なります。また、地質情報に加えて、熱伝導率や地中温度のデータについても事前にある程度把握できると、その後の設計に大きく役立ちます。これらの地質情報については、一般公開されている多くのデータベースがあります(例えば、国土地盤情報検索サイト KuniJiban <http://www.kunjiban.pwri.go.jp> など)。

地中熱利用システムにおける熱交換効率を考えた場合、設置予定地の地下水位が高く、熱交換器が地下水で飽和されていると、熱伝導率が高くなります。そのため、地下水面がどこにあるかを調べるのが有効です。地下水面の分布形状を調べるためには、その地域の浅井戸(深さ数 m 程度)の水位データを調べるのが有効です。地下水面を簡単に調べられる方法はないので、近くの浅井戸の水位を測定し、参考にすると良いでしょう。

なお、地下水位が低いが、農業用水等が豊富に使える地域では、熱交換器設置範囲に散水することにより、熱効率を高めることもできます。

## Q7. どの資材がベスト でしょうか？

### A7.

一般的に採熱管として使用されているのは高性能ポリエチレン管（PE100）となります。これは強度、耐久性に優れ 40 年以上交換の必要はありません。北海道新篠津村での試験では 20A と 25A、25A 薄肉管を使用しており、圧力損失が少なく、不凍液の循環がスムーズなのは 25A 薄肉管となりました。

## Q8. 地中熱ヒートポン プのメーカーを教 えてください。

### A8.

採用するシステム方式により機器仕様/メーカーは異なります。地中熱ヒートポンプメーカー業界の統一窓口はないようです。そのため直接個々のヒートポンプメーカーに問い合わせることになります。ヒートポンプメーカーを調べる際に NPO 法人地中熱利用促進協会の会員名簿等も参考になります。

## Q9. 地中熱ヒートポンプシステムで、作物への局所加温／冷却とハウス内の冷暖房に同時に利用できますか？

### A9.

地中熱ヒートポンプシステムでは、空気(温風／冷風)での供給方式と水(温水／冷水)での供給方式があります。ハウス内の冷暖房へは空気で供給し、イチゴやガーベラなど生長点が比較的地表部に存在する作物では、温／冷水チューブでの局所的な温度管理が有効です。シクラメンなど作物によっては、ベンチ床面の冷水冷却でも生育が促進されます(図9)。1台の水供給方式のヒートポンプに水→空気の熱交換ユニットを追加することで対応できますが、空気供給専用のヒートポンプに比べ効率が劣ります。



図9 局所温度管理を取り入れた花き栽培  
(矢印が局所加温／冷却箇所)  
左:シクラメン(ベンチ), 右:ガーベラ(高設)

Q10.

ハウス周辺の融雪に使用できますか？

A10.

積雪寒冷地の場合、地中に融雪用配管を埋設し、管内に温水を流すことで道路や駐車場の雪を溶かします。融雪用配管を埋設すれば、融雪可能となりますが、ハウス加温と融雪に使う熱が確保できるシステムにする必要があります。

Q11.

現在、重油暖房を行っていますが、地中熱ヒートポンプへの転換を考えています。注意すべき点は何ですか？

A11. 運用面

燃油暖房機に比べて温風温度が低温となります。冬期に高温を維持することが必要な品目には使用できない可能性があります。また、ハウス内にヒートポンプの設置スペース、配管スペースが必要となります。また、採熱するための土地、浅層採熱を採用する場合は採熱管(地中熱交換器)を水平に埋めるための広い土地が必要となります。

採熱管を埋めるための土地面積は地中熱交換器を埋設するトレンチ(溝)の長さ、配置等で決まります(図 11-1)。おおよその必要トレンチ長さを図 11-2 に示しましたが、実際は土壌条件、気象条件、運転条件等により異なりますので、正確な設計が必要です。

目安としては、例えば、50m 長のトレンチを 4 本平行に 4m 間隔で配置してトレンチ総長 200m を確保する場合なら、 $50\text{m} \times (4\text{m} \times 4\text{本}) = 800\text{m}^2$  の土地面積が必要となります。ハウスと一体的に施工する場合は、ハウス床面地中に採熱管を埋設することも可能です。

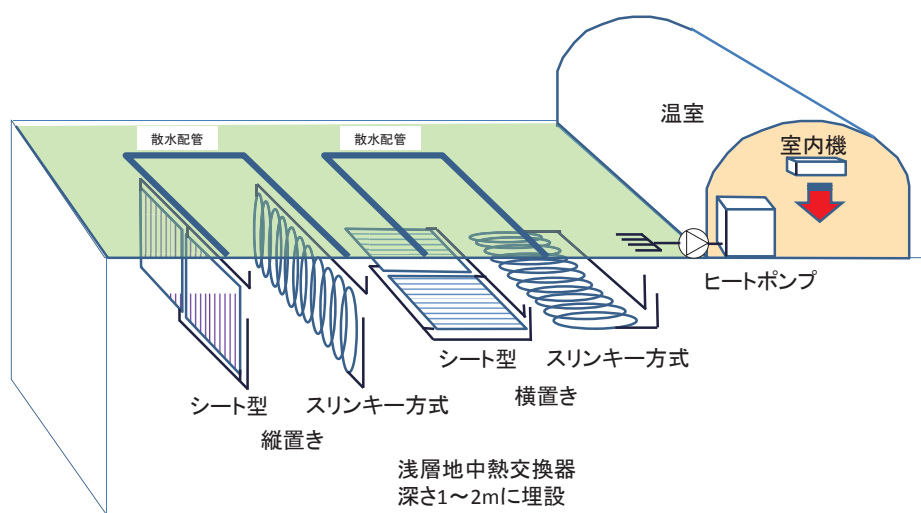


図 11-1 浅層地中熱交換器を使った地中熱ヒートポンプシステムの模式図

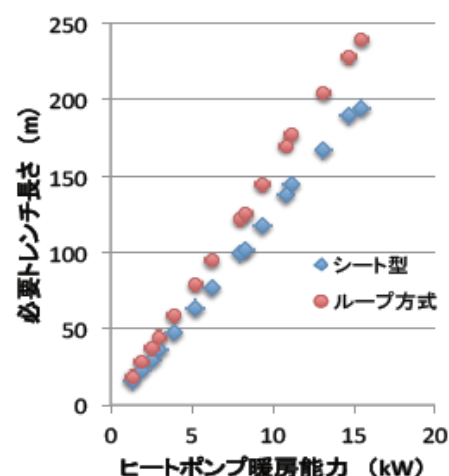


図 11-2 簡易推定による必要トレンチ長さ  
(つくば市を想定)

## A11. コスト面

地中熱ヒートポンプは暖房をするために電気を使います。これに掛かるランニングコストは、燃油価格と電気料金に左右されますが、およそ燃油暖房の 1/3 程度と優れています。一方、初期コストは 10 倍以上と高額になり、その差額を取り返すまでのペイバックタイムは 30 年以上となります。このため、現状では全ての暖房を地中熱ヒートポンプで行うことは現実的ではないようです。

そこで、初期コストを抑え、ランニングコストを低くする方法として、暖房に必要な最大熱量の 1/2(これをベースロードと呼ぶ)に地中熱ヒートポンプを使い、足りないときだけ燃油暖房を使う燃油/地中熱ヒートポンプハイブリッド運転システムがあります。

ハイブリッド運転システムでは運転コストの安いヒートポンプを優先して運転し、ヒートポンプのみでは室温維持が困難となる低温時に併用運転することにより、暖房に必要な年間熱量の 80%を地中熱ヒートポンプでまかなうことができます。ベースロードを大きくするほど、地中熱ヒートポンプがまかなう年間の暖房熱量は多くなり、ランニングコストは低くなりますが、初期コストは増大します。

使用するエネルギーは、燃油＋電気ですので、ヒートポンプを使用しない期間でも電力の基本料金が発生します。このため、地中熱ヒートポンプを導入する場合には、夏季にもヒートポンプでの冷房、除湿などを利用して付加価値の高い作物を栽培することも、併せて検討することが重要です。

地中熱ヒートポンプを導入する際、補助金を利用できる場合があります。補助金の内容は、経済産業省、環境省、農林水産省、環境省や最寄りの地方公共団体などのホームページに掲載されています。

## Q12

大面積のハウスに地中熱ヒートポンプを導入する場合、ヒートポンプユニットはどの程度の能力のものを何台くらい導入すべきでしょうか？

### A12.

ハウスの大きさ・仕様・作物や設置する地域、冷房/暖房を使用する時間帯等により必要な能力は大きく異なります。よって、機器を選定するには詳細な負荷計算をする必要があります。

以下、考え方の目安例を2つお示しします。ハウスの仕様・作物等により幅があることがわかります。

【目安1】: 今回試験を行なったハウスの床面積が 500m<sup>2</sup>、空気膜ハウス、北海道地域という条件で暖房出力は約 50kW となりました。ハウスの仕様、栽培品目によっても異なってきますが、100m<sup>2</sup> 当たり 10kW 出力のヒートポンプ設置が目安と考えています。

【目安2】: 暖房設定気温が 15℃と高めの保温カーテン 1 層ハウス（つくば市）で完全確実に暖房負荷量を供給するには、500m<sup>2</sup>（約 150 坪）のハウスの場合 25 馬力（70kW）相当（5 馬力 × 5 台）、1000m<sup>2</sup>（約 303 坪）のハウスの場合 45 馬力相当（125kW）（5 馬力 × 9 台）の空調能力が必要です。ただし、実際は、補助暖房を付加するなどしてヒートポンプ能力を半分程度に抑えることが多いようです。

## Q13

地中熱の採熱に利用する不凍液は農地や作物に害を及ぼしませんか？

### A13.

地中熱ヒートポンプシステムにおいて熱輸送を目的に使用される不凍液は凍結防止および防食効果を有する液体です。不凍液の主成分はグリコール（エチレングリコール、プロピレングリコールなど）や有機酸塩（酢酸塩など）であり、水、防食剤、着色剤等が添加されています。

地中熱ヒートポンプシステムに使用される不凍液に要求される性能としては、凍結防止および防食効果の他に粘度が小さいことや環境への影響が小さいことが挙げられます。特に環境への影響は漏洩時に問題となるため、使用する不凍液の条件として重要な項目です。

以下に不凍液の主成分であるグリコールおよび有機酸塩の環境または植物への影響を記載します。

### (1) エチレングリコール

好氣的条件および嫌氣的条件下で生分解されやすく、また、生物への蓄積の可能性も低いとされています。植物への影響については、エチレングリコール溶液に種子を浸漬した場合に発芽量の減少や発育不全が認められた場合もありますが、発芽した種子からの収穫量が倍増した場合もあるなど統一した見解は得られていません。また、農業の液剤(補助剤)として使用されることもあり生育中の植物への影響は少ないと推測されています。

### (2) プロピレングリコール

毒性が低い物質で、食品添加物として食品、化粧品、シャンプー等幅広く使用されています。また、水環境中や土壌中で容易に生分解され、生物への蓄積の可能性は低いとされています。植物への影響について調査したデータは確認されていませんが、生分解性が高いことや他の生物に対して蓄積の可能性が低いことから大きな影響は無いと考えられます。

### (3) 酢酸塩

酢酸は食品として摂取されており、環境中での分解性は良好で生態への蓄積の可能性は低いとされています。また、酢酸は病害虫対策として農業にも使用されている物質であるため植物への影響は少ないと推測されます。

その他微量の防食剤等が添加されていますが、不凍液の種類により使用される物質が異なるためメーカーに問い合わせることをお勧めします。

### 参考資料

(1) Concise International Chemical Assessment Document No. 22 ETHYLENE GLYCOL: Environmental Aspects (2000)

(2) 有害性評価書 Ver. 1.0 No.34 エチレングリコール 新エネルギー・産業技術総合開発機構

特別寄稿 ショーワ(株)

不凍液の農地への漏洩に関して影響解明はほとんどなされていないので、今後の検証と慎重な不凍液の選択および施工が求められるところです。

## Q14

# 地中に空気を送って 冷温・熱を得るシステムは施設園芸で利用 できますか？

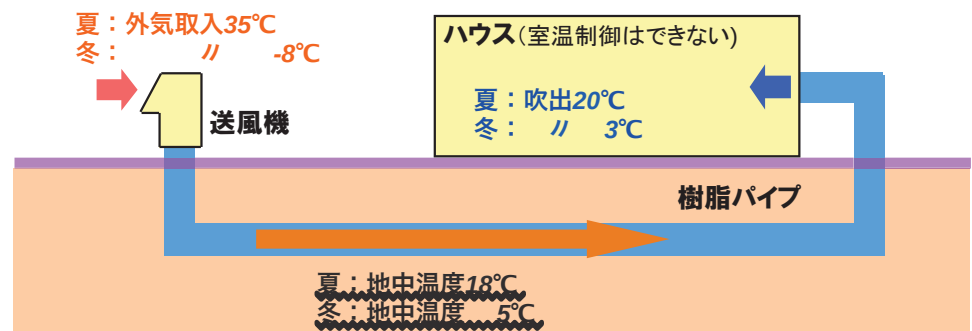
## A14.

本プロジェクトでは検討していませんが、事例情報をいただきましたので、紹介致します。

## 【システムについて】

地下に埋めたパイプ内に送風機により外気を送り込み、周囲の土壌と熱交換させた空気を直接ハウス内に導入による換気や、空気式HPの室外機と連携させることで省エネ化が図れます。

## 【システム概略図】



## 【期待効果】

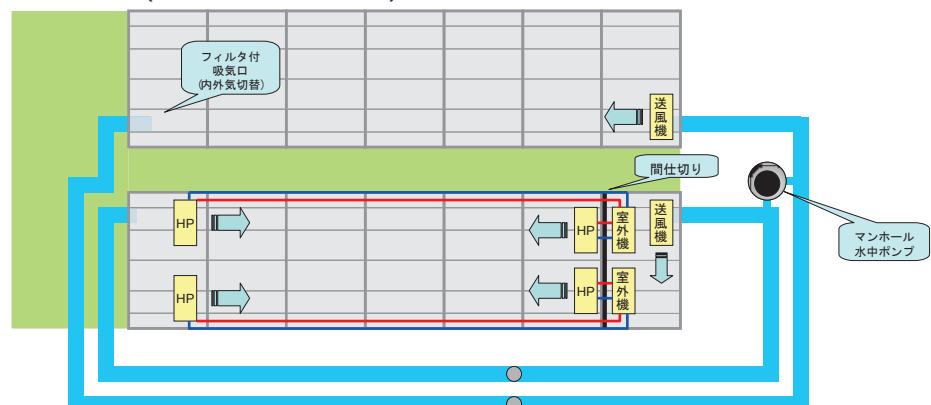
- [夏] 夜間の冷却やハウス内の作業性改善
- [冬] 作物の凍結防止と雪による倒壊防止

## 【事例】

- (1) ほうれんそう・・・効果：播種時期を約2週間延長
- (2) いちご・・・効果：ハウス下に管を埋設、冬期暖房費の約30%削減
- (3) バラ・・・効果：リブクール単独で越冬（100坪ハウス換算で灯油約4300L/年削減）
- (4) デルフィニウム・・・効果：HPとの組合せ

育成栽培時に冷風を当てると収量が約50%増加  
月平均暖房費が約60%削減

※HP組み合わせ(デルフィニウムの例)



## Q15

より詳しい情報は  
どこで入手できま  
すか？

## A15.

本プロジェクトに関しては、下記の代表担当機関へお問い合わせ下さい。必要に応じて、プロジェクトメンバーに照会するように致します。

研究機関名：

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
農村工学研究所

住所：

〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

連絡先：

(担当部署) 農地基盤工学研究領域(農業施設工学)

(電話) 029-838-7594 (奥島里美)

(問い合わせフォーム)

<https://www.naro.affrc.go.jp/nkk/inquiry/index.html>

## VI. 栽培事例紹介

### 1. 寒冷地(アルストロメリア)

場所:北海道石狩郡新篠津村

農場主:S 氏

栽培品目:アルストロメリア

栽培規模:500m<sup>2</sup>ハウス

ヒートポンプ能力:30kW×2 台(従来は 75,000kcal の重油温風暖房機 1 台)

採熱管埋設場所:ハウスに隣接する転換畑, 深さ 1.5m

利用方法:冬期暖房(10~5 月, 最低温度 11℃), 夏期地中冷却(7~9 月, 目標地温 17℃)

ランニングコスト削減率:49%(対灯油暖房)



図1. 冬期の状況



図2. 栽培状況



図3. 設置した HP



図4. 採熱管理設圃場での秋播き小麦  
小麦の生育に影響なし

## 2. 温暖地(トマト)

(国研)農研機構野菜茶業研究所つくば拠点において約 200 m<sup>2</sup>の高軒高ハウスにおいて、地中熱を熱源とするヒートポンプシステムを設置し、トマト栽培における冷暖房運転を実施し、現在、収量や運転性能データを収集中です。(図 1)。

場所:茨城県つくば市観音台 3-1-1

試験組織:(国研)農研機構野菜茶業研究所

栽培品目:トマト

栽培方法:ロックウール養液栽培

暖房運転:トマトの群落内にダクトを設置し、局所加温を行っています。ガス燃烧式暖房機を併用し、ハイブリッド運転でハウス内温度調節を行っています(図 2)。

冷房運転:夏季には夜間冷房運転を実施し、室内気温が 20℃になるようにしました。

地中熱交換方式:スリンキー、G-カーペット、ボアホール。

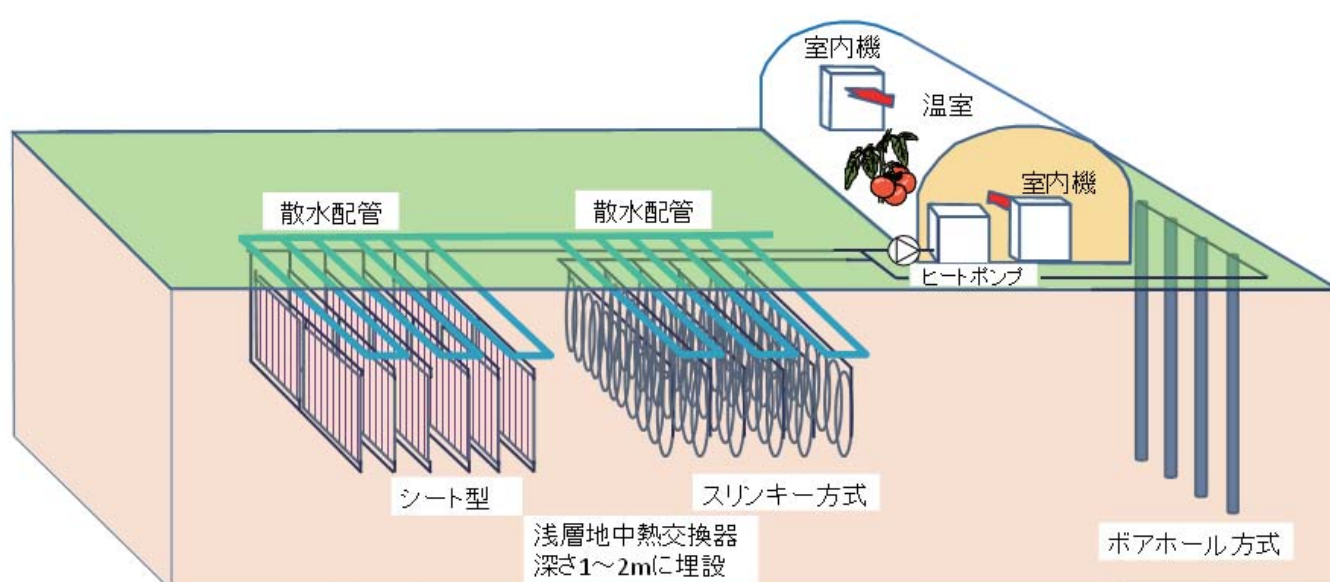


図 1 地中熱を熱源とするヒートポンプシステムの模式図

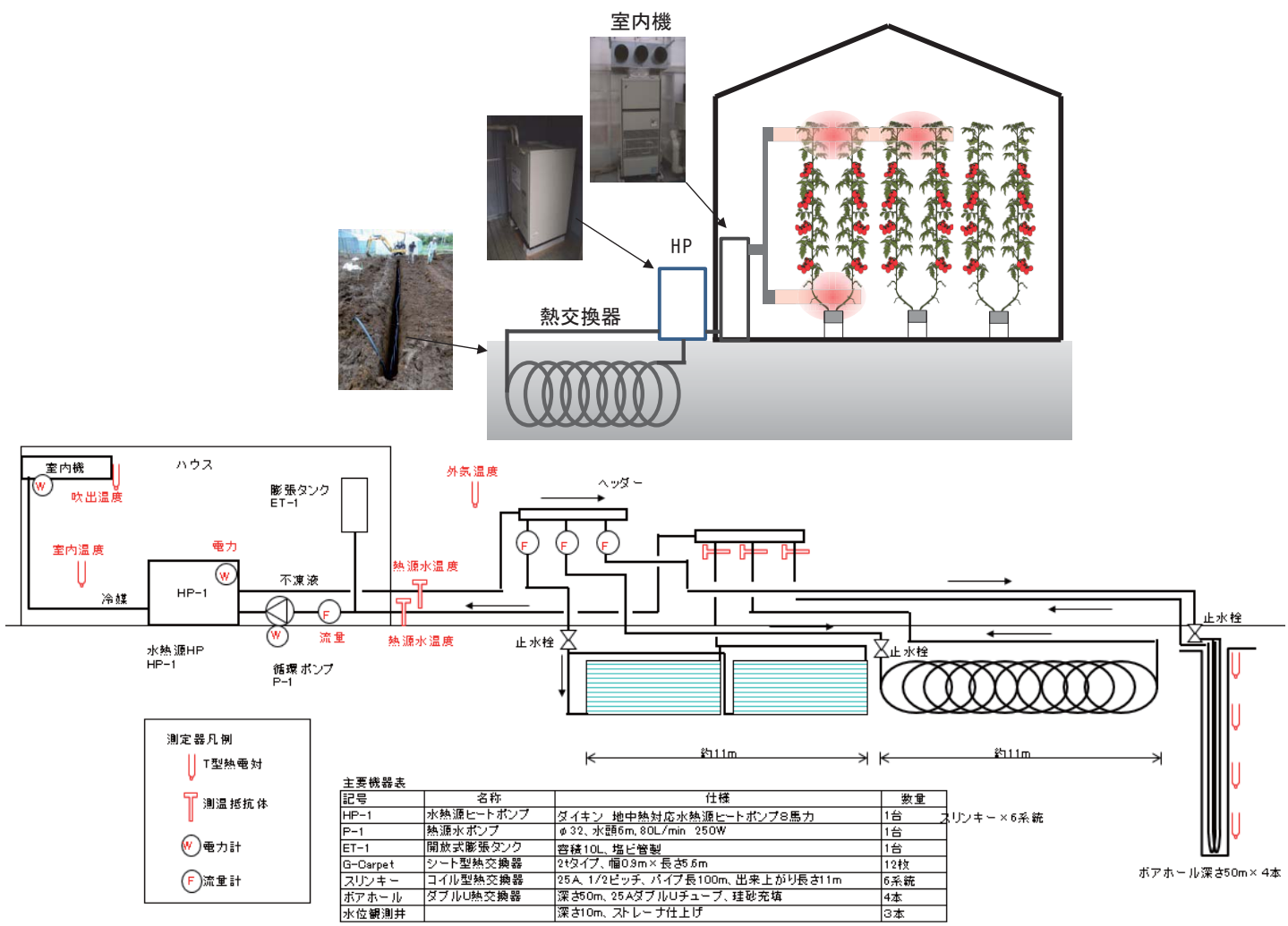


図 2 地中熱を熱源とするヒートポンプシステムの概要

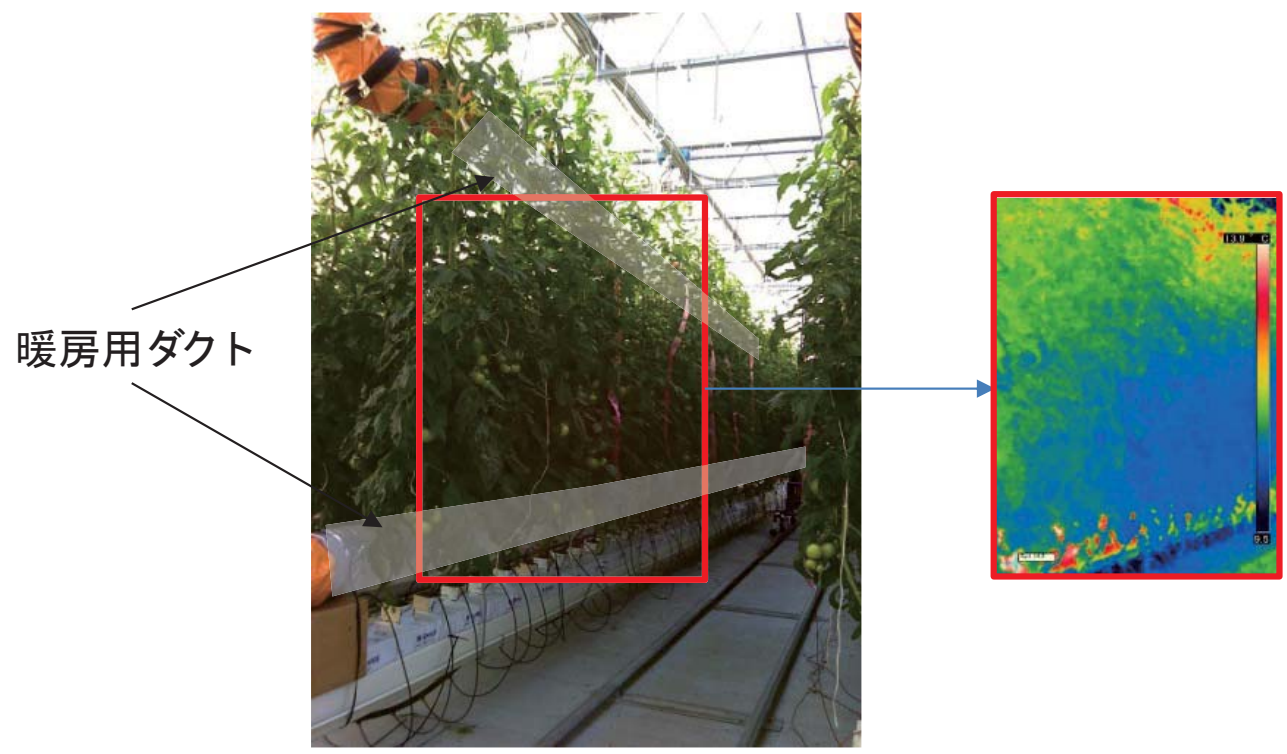


図 3 局所加温の様子および熱画像

### 3. 温暖地（鉢物）

場所：東京都立川市富士見町 3-8-1

試験組織：（公財）東京都農林水産振興財団 東京都農林総合研究センター

栽培品目：シクラメン

栽培方法：（現時点での冷房運転結果についてのみ紹介します。）

局所冷房処理がシクラメンの生育に与える影響を調べるため、アグリマット上にシクラメン鉢を配置し、冷房運転を行いました（Q&A⑨の図 9）。8 月下旬の調査結果において、品種に関わらず、局所冷却を行うことで株張が大きく、株高が小さく、地上部、地下部ともに乾物重が増加しました。葉枚数も増加傾向でしたが、有意差は認められませんでした。特に地下部重の差が著しく、冷房を行わない区では、根の先端が茶色に変色し、先端が丸く生育が停滞しましたが、冷房により、根の先端が白色で、生育の停滞も観察されませんでした（図 1）。また、冷房処理しないと、葉柄が細く長く徒長気味でしたが、冷房処理で葉柄が太く、短かく締った草姿となりました。ポインセチアにおいても同様の傾向で、局所冷房により、株の生育が大幅に増進しました。このように、鉢全体を冷却する栽培法は花きの鉢花での品質向上に有効な手段です。

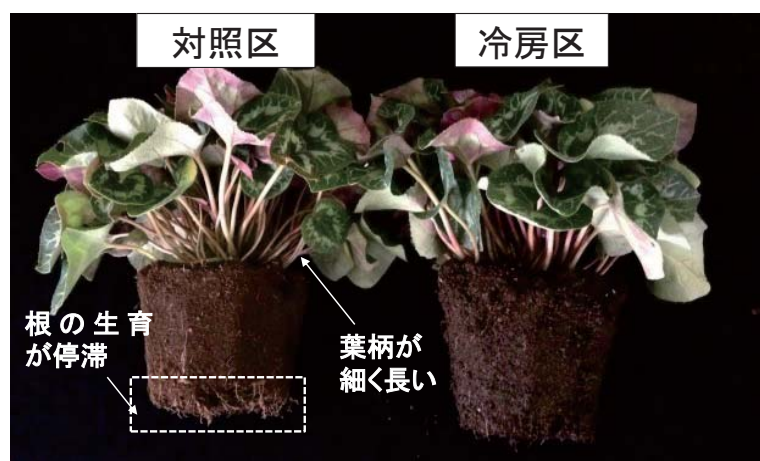


図 1 地下部の冷却がシクラメンの生育に与える影響

## 4. 暖地(ナス)

場所:福岡県筑紫野市大字吉木 587

試験組織:福岡県農林業総合試験場

栽培品目:ナス

栽培方法:株元加温のナス栽培ハウス(土耕)

ハウス内暖房設定気温は 7℃として, 下記の地中熱ヒートポンプシステムにより暖房しました。ハウス内では株元を局所加温でさらに加温した実験区と対照区での栽培試験が行われています。

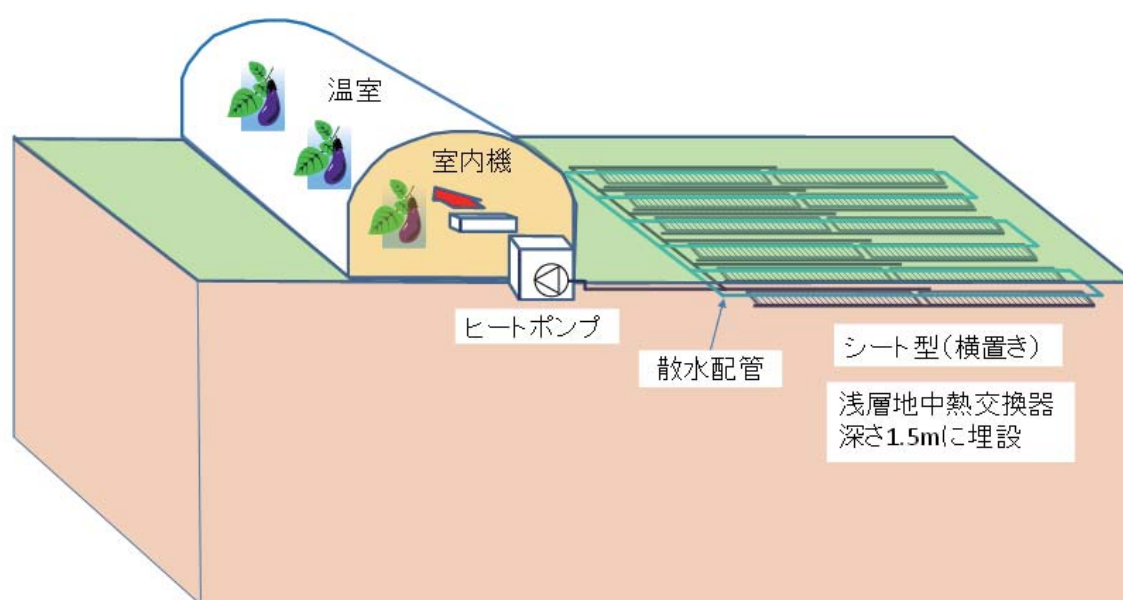


図 1 地中熱を熱源とするヒートポンプシステムの模式図

## 監修・執筆者一覧(五十音順)

安 東 赫 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 野菜茶業研究所  
野菜生産技術研究領域

内田 洋平 国立研究開発法人 産業総合研究所 福島再生可能エネルギー研究所  
(FREA)

生方 雅男(地独)北海道立総合研究機構 花・野菜技術センター

岡 敏博 ダイキン工業株式会社 空調営業本部 テクニカルエンジニアリング部

岡澤 立夫(公財)東京都農林水産振興財団 東京都農林総合研究センター

奥島 里美 国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所  
農地基盤工学研究領域

鈴木 克己 国立大学法人 静岡大学 大学院農学研究科

高杉 真司 ジオシステム株式会社 代表取締役

多田 梨恵 サンポット株式会社 技術部開発グループ 地中熱開発チーム

舘野 正之 ジオシステム株式会社 小岩井事務所

長野 克則 国立大学法人 北海道大学 大学院工学研究科

松岡 美志 農林水産省 農林水産技術会議事務局

特別寄稿:

井上 行雄 ショーワ株式会社 技術開発センター

蔦尾 友重 積水化学工業株式会社 環境・ライフラインカンパニー 開発研究所



2015 年 10 月 12 日(途中版)

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構  
農村工学研究所  
〒305-8609 茨城県つくば市観音台 2-1-6

