

## 優良省エネルギー設備顕彰事例②

新設設備部門 一般社団法人日本冷凍空調設備工業連合会会長優秀賞

### 脱・化石燃料のための地下水を熱源とした ヒートポンプの応用研究

設備所有者：福井県農業試験場 菱名工業株式会社  
設備施工者：菱名工業株式会社

#### 建物の概要

名称：福井県農業試験場内 園芸用ビニールハウス

所在地：福井県福井市寮町辺操52-21

概要：建家 地上 1階 構造 その他

延床面積 323m<sup>2</sup> 用途 トマト栽培

#### 1. 技術開発の目的と経過

##### 目的

脱・化石燃料のための地下水を熱源としたヒートポンプの応用研究

##### 経過

(1) 平成23年11月～12月 地下水熱利用型ヒートポンプのシステム設計

##### ア 機器システム設計

- ①ヒートポンプ設計能力算定：福井県農業試験場ビニールハウスの面積および容積を考慮し、5馬力の地下水熱利用型ヒートポンプとした
- ②外寸法・架台設計：ヒートポンプ機能部品を検討し、架台を設計
- ③冷媒配管システム設計：水冷式ヒートポンプの冷媒回路を設計
- ④水熱交換器設計：熱交換器をブレイジング型SUSプレート式熱交換器とする
- ⑤空気熱交換器設計：吹出空気の到達距離を伸ばすため、高静圧型送風機を内蔵したダクトとする
- ⑥ダクト設計：送風距離を考慮し、熱交換器のダクトサイズ200φを吹出口150φにサイズダウンする
- ⑦ダクトの保温設備：冷房運転時のダクトの結露対策として、グラスウールを断熱材として採用

##### イ 自動制御回路設計

- ①4段変温サーモの取付：標準装備としてハウス用既製品を採用  
※このサーモで栽培品目に適した温度設定ができ、生産性の向上が期待できる。
- ②温度制御システム
  - ・暖房運転時の温度制御範囲：5～25℃
  - ・冷房運転時の温度制御範囲：15～30℃
- ③地下水制御システム
  - ・地下水圧力を検知して、ヒートポンプの運転制御を行う
  - ・電動弁を設備して圧縮機連動による地下水節水システムの構築

ウ システム検討

- ①ア・イのシステム検討からヒートポンプの機器サイズを検討し、実設計する
- ②水熱交換器・圧縮機・関連機器・制御盤配置検討
- ③冷媒配管系統システム検討
- ④地下水配管方法と洗浄作業回路配管検討
- ⑤地下水配管・プレート式熱交換器の凍結対策方法検討
- ⑥地下水ポンプ異常時のヒートポンプ保護システム検討

(2) 平成24年1月～4月地下水熱利用型ヒートポンプの試作

ア 地下水熱利用型ヒートポンプの製作・工場試運転調整



写真1 架台製作中



写真2 空気熱交換器取付中



写真3 冷媒・水配管完了 気密試験中

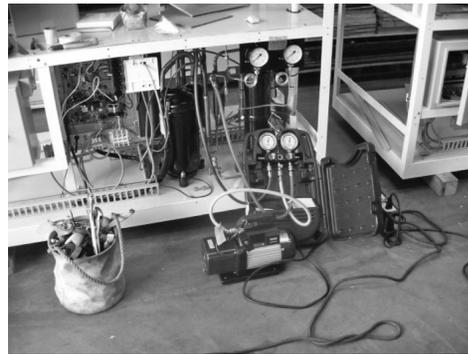


写真4 真空乾燥作業中

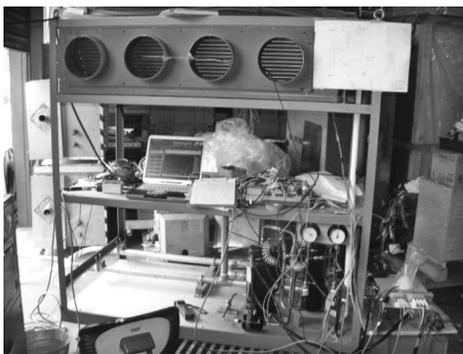


写真5 試運転準備中



写真6 試運転調整データ収集中

- (3) 平成24年4月～5月 試験機納入・試運転調整・引き渡し  
 ア 福井県農業試験場殿機器搬入据付

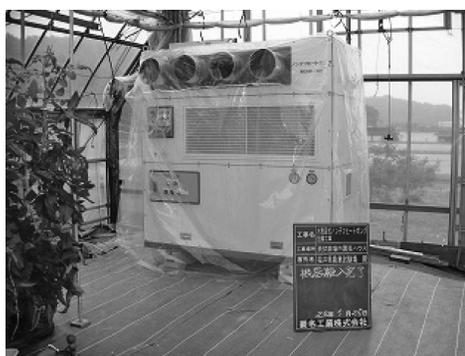


写真7 設置完了

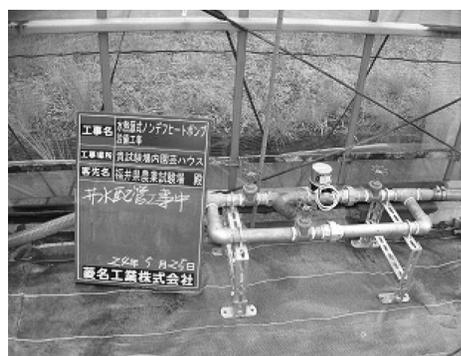


写真8 地下水配管工事中



写真9 ダクト設備工事完了



写真10 設置工事完了

- (4) 平成24年10月 福井県農業試験場の新規研究課題用として、前記同タイプ3台を納入設置する(販売)。

## 2. 設備・システムの概要

### (1) 内容・構造説明

地下水熱利用型ヒートポンプは、空気熱源式熱交換器と地下水熱交換器および冷媒R410A用インバータ式圧縮機を組み合わせたハウス用ヒートポンプです。

### (2) 特徴

#### ア ノンデフロスト暖房運転

地下水を交換熱源とするため除霜(デフロスト)運転がなく連続運転が可能となり、農業用ハウスで一般的に行われている石油式暖房機との併用運転は不要となる。

#### イ ハウス内温度の安定

約18℃の地下水を熱交換するため、暖房時および冷房時の設定温度が維持しやすく、空気熱源式に比べて30～40%の能力UPが可能となる。

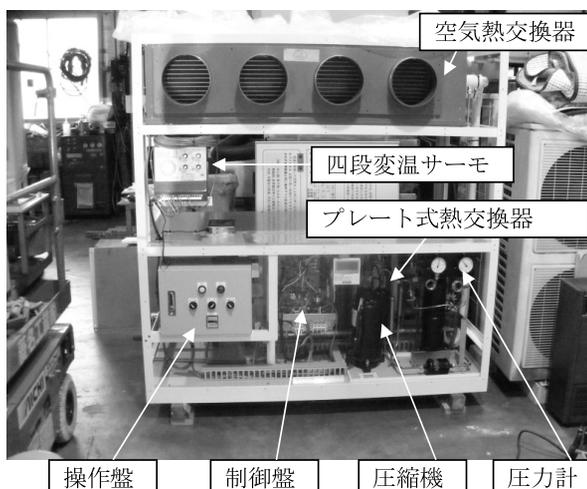


写真19 地下水熱利用型ヒートポンプ内部写真

○吹出口温度

暖房時：50℃以上、冷房時：4～5℃

ウ 地下水ポンプ省電力・地下水節水効果

ヒートポンプの圧縮機に連動した電動弁の作動により、地下水の制御を行うため、地下水の節水が可能となる。

エ 熱交換後の排水の有効利用

ヒートポンプによる熱交換後の地下水は、リアルタイムで降雪（暖房）時のハウス周囲の融雪のほか、盛夏期の冷房の補助や加湿用水などの水源として再利用が可能である。

(参考) 地下水熱利用型ヒートポンプは成績係数（COP）が高く高効率

地下水熱利用型ヒートポンプのCOPは空気熱源式の約1.5倍となっている。

表1 電力量・COP比較（独法 野菜茶業研究所殿資料から）

date	DH(°C·hr)	放熱量 (kWh/m <sup>2</sup> )	電力消費量(17-8) (kWh/m <sup>2</sup> )		C.O.P	
			地下水熱源	空気熱源	地下水熱源	空気熱源
2010/1/12	192.8	0.97	0.26	0.51	3.68	1.90
2010/1/13	223.8	1.90	0.45	0.72	4.17	2.64
2010/1/14	240.3	2.01	0.50	0.80	3.99	2.51
2010/1/15	211.6	1.93	0.47	0.72	4.10	2.67
2010/1/16	227.7	1.93	0.46	0.72	4.16	2.68
2010/1/17	254.9	1.98	0.49	0.77	4.02	2.56
2010/1/18	204.9	1.45	0.37	0.57	3.94	2.55
2010/1/19	206.6	1.52	0.37	0.60	4.08	2.52
2010/1/20	45.8	0.46	0.15	0.17	2.96	2.67
2010/1/21	191.0	1.91	0.45	0.69	4.22	2.77
2010/1/22	234.1	1.92	0.46	0.74	4.21	2.60
2010/1/23	213.8	1.67	0.41	0.65	4.09	2.59
2010/1/24	160.1	1.46	0.36	0.53	4.02	2.73
平均	200.6	1.62	0.40	0.63	3.97	2.57

3. 着想

(1) 着想の経緯

ア 福井県農業試験場より、地下水熱利用型ヒートポンプのお問い合わせがあった（H23.10）。  
 弊社回答：当社も機種が無く、他メーカーも水冷式ヒートポンプは製造をしていなかった。  
 但し、チリングユニットの空気熱源式にはヒートポンプがあり、水冷式は冷却専用機のみ既製品がある。

イ 福井県農業試験場の地下水熱利用型ヒートポンプ導入検討理由

- ①化石燃料の高騰で石油式ボイラーに代わるヒートポンプによる省エネ暖房方式を導入したい。
- ②地下水熱利用のヒートポンプは除霜（デフロスト）運転が無く高効率と聞いている。
- ③降雪地域のため空気熱源式ヒートポンプでは効率が悪い。
- ④福井県内の冬季も使う園芸用ハウスでは、融雪、灌水のために地下水設備を常設している
- ⑤ヒートポンプの熱交換後の排水をハウス周囲の融雪に二次利用したい。
- ⑥夏季はヒートポンプの熱交換後の排水を加湿や冷房の補助などの再利用に検討したい。
- ⑦試験場として、燃料費削減可能な高効率ヒートポンプの試験結果を広報し、生産者の増収増益提案を行いたい

(2) 着想結果

福井県農業試験場の導入検討理由から、是非とも降雪地域の生産者の方々に貢献したいと考え「積雪地域における脱・化石燃料のための地下水熱利用型ヒートポンプ」の試作検討となった。

#### 4. 効果（省エネルギー）

(1) 地下水熱利用型ヒートポンプ WEHP-5H（5馬力）運転データ（福井県農業試験場資料から）

ア 地下水熱利用型ヒートポンプと石油式温風暖房機との比較試験

①ハウス内のレイアウト

②ヒートポンプのダクト（吹出口）配置

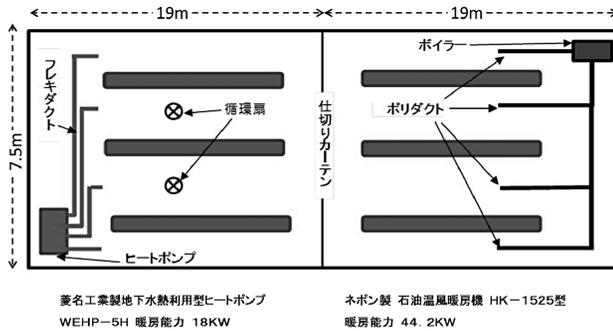


図1 平面設備図

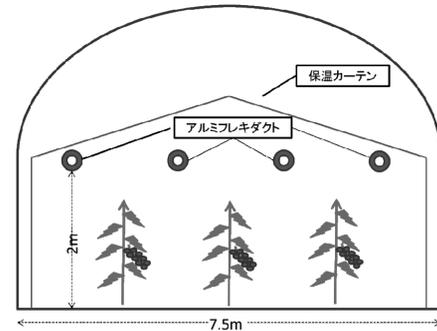


図2 立面設備図

③試験結果

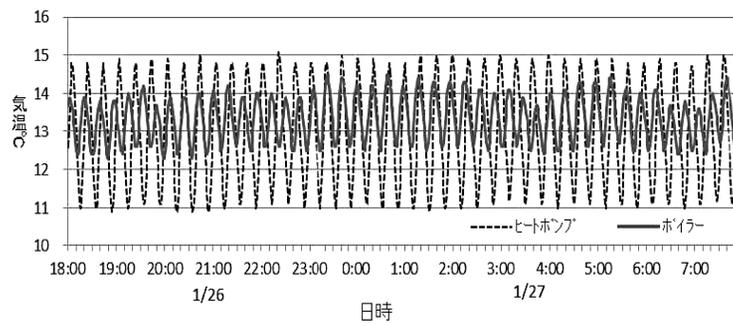


図3 ハウス内の温度変化

※ボイラーに比べてヒートポンプ区で温度の振幅が大きいのは、4段サーモの感度設定が2℃に設定されていたためである。石油式ボイラーは1℃の感度で稼働していた。設定温度は13℃。

④暖房運転時間、消費エネルギーおよびコスト比較

表2 暖房方法別の月別稼働時間

福井県農業試験場資料より

暖房方法	11月	12月	1月	2月	3月	期間時間計
地下水熱利用型ヒートポンプ	74.9	198.6	224.7	178.7	115.0	791.9
石油式温風暖房機	51.0	110.0	125.0	94.0	57.0	437.0

※期間は平成24年11月1日から平成25年3月31日まで。設定温度13℃。各暖房面積142.5㎡。

表3 暖房方法別の消費エネルギー量

暖房方法	項目	11月	12月	1月	2月	3月	期間計
地下水熱利用型ヒートポンプ	HP電力量(kwh)	240	617	764	635	392	2,647
	井戸 "(kwh)	96	236	247	204	126	910
	小計	336	853	1,012	839	518	3,557
石油式温風暖房機	燃油量(L)	250	539	613	461	279	2,141
	電力量(kwh)	74	148	163	120	70	576

※表2と同じ条件。

表4 暖房方法別の消費エネルギー量 (MJ単位に換算)

暖房方法	項目	11月	12月	1月	2月	3月	期間計
地下水熱利用型 ヒートポンプ	HP電力	2,225	5,723	7,092	5,889	3,635	24,564
	井戸 "	893	2,190	2,295	1,898	1,171	8,447
	小計	3,119	7,913	9,387	7,787	4,806	33,011
石油式温風暖房 機	燃油	9,171	19,781	22,479	16,904	10,250	78,586
	電気	689	1,370	1,515	1,117	651	5,342
	小計	9,860	21,151	23,994	18,021	10,901	83,927

※電気量は 9.28MJ/kwh、燃油は 36.7MJ/Lとして表-3の値から計算。各暖房面積 142.5 m<sup>2</sup>。

<省エネルギー効果 (暖房面積142.5m<sup>2</sup>) > 消費エネルギー量 (MJ) で比較

- ・地下水熱利用型ヒートポンプ 33,011MJ
- ・石油式温風暖房機 83,927MJ
- ・省エネルギー -50,916MJ (-60.7%)

表5 暖房方法別のエネルギーコスト比較

暖房方法	項目	11月	12月	1月	2月	3月	期間計
地下水熱利用型 ヒートポンプ	HP電力	2,753	7,080	8,773	7,285	4,497	30,388
	井戸 "	536	1,314	1,377	1,139	703	5,070
	小計	3,289	8,394	10,151	8,424	5,200	35,458
石油式温風暖房 機	燃油	19,992	43,120	49,000	36,848	22,344	171,304
	電気	852	1,694	1,875	1,382	805	6,608
	小計	20,844	44,814	50,875	38,230	23,149	177,912

※電気代 11.48 円/kwh(井戸除く)、5.57 円/kwh(井戸)、燃油代 80 円/L で表3の値から計算。電気代の月額基本料金は含まず。

<エネルギーコスト比較 (暖房面積142.5m<sup>2</sup>) >

- ・地下水熱利用型ヒートポンプ 35,458円
- ・石油式温風暖房機 177,912円
- ・低減コスト -142,454円 (80.1%減)

## 5. 投資回収 (省マネー)

(1) 地下水熱利用型ヒートポンプと化石燃料温風暖房機との償却年数比較

表6 償却費およびランニングコストの比較

- ・暖房面積：石油温風暖房機・ヒートポンプとも142.5m<sup>2</sup>
- ・石油式温風暖房機 A 参考型番 HK325TE (暖房能力37.2kW) × 1台 定価：456,000円
- ・地下水熱利用型ヒートポンプ B WEHP-5H (暖房能力18kW) × 1台 定価：@2,300,000円

項目	石油式温風暖房 機 A	地下水熱利用型 ヒートポンプ B	差額(B-A)	備考
本体価格	374,000	1,500,000	1,126,000	石油温風暖房機は現行機種
設備工事費	250,000	150,000	△100,000	
年間償却額	35,430	235,142	199,712	7年償却として計算
ランニングコスト	177,912	35,458	△141,996	
年間費用計	213,342	270,458	57,116	

※単位：円

表6から、ランニングコストは地下水熱利用型ヒートポンプが141,996円安くなり、償却年数は7.2年となる。今回のように低めの暖房設定温度 (13℃) ではランニングコストの額が少額となるほか、燃油単価

を80円/Lと設定したために設備の償却費を回収できていないが、近年の100円/L前後の単価を想定すると回収できる計算となる（燃油単価91円/L以上で回収できる）。

また、温度設定を上げればランニングコストの差は大きくなるほか、栽培農産物の生育適温に近づけることで生産性の向上が期待でき、償却年数は短縮できると推察される。

さらに、地下水熱利用型ヒートポンプでは、熱交換後の排水の冬場の融雪への利用が可能であり、融雪に使われる地下水ポンプの電気代を考慮すると、コストの回収はさらに短縮できるものと考えられる。

#### ※積雪寒冷地域に於ける地下水利用型ヒートポンプ設備について

積雪寒冷地域における園芸用施設の暖房手段としては、燃油の代替エネルギーとして地下水が効果的であり、初期コストは高価であるが高効率である地下水熱利用型ヒートポンプ設備の導入が、これからの施設園芸の生産性向上に有効な手段と考えられる。

(2) 表7（参考） ビニールハウス100坪（330m<sup>2</sup>）に於ける各機器費用比較

	化石燃料温風暖房機 (暖房能力 58kW)	空気熱源式ヒートポンプ (5馬力×2台 25kW)	地下水熱利用型ヒートポンプ (5馬力×2台 36kW)
設置条件(場所)	○ 制約なし	△ 温暖・小雪地域	× 地下水利用可能地域
単体利用	○ 可能	× ハイブリッドが基本	○ 可能
本体価格 *1(千円)	○ 350	△ 1,500	× 3,000
設置費用 *2(千円)	○ 250	× 500	○ 300
ランニングコスト(千円)	× 1,000 *3	△ 600 *3	○ 400 *4
COP	× 0.9程度	△ 2~4	○ 4~5

凡例 ○:優 △:良 ×:可

\*1 化石燃料温風暖房機および空気熱源式ヒートポンプの本体価格は、市場調査価格

(算出諸元：ハウス面積 330m<sup>2</sup> (100坪)・ハウス設定温度 18℃・二重カーテン付)

\*2 地下水熱利用型ヒートポンプに必要な地下水井戸は既設流用を前提

(算出諸元：ハウス面積 330m<sup>2</sup> (100坪)・ハウス設定温度 18℃・二重カーテン付)

なお、「多雪地帯では融雪用の井戸の保有率が高いこと」ならびに「地下水用井戸設置費用は掘削深さにより変動幅が大きいこと」から、今回は既設流用として算出している。

\*3 化石燃料温風暖房機および空気熱源式ヒートポンプの電気代は市場調査価格

\*4 地下水熱利用型ヒートポンプは、空気熱源式ヒートポンプに対し、効率約50%アップ（表1の電力消費量およびCOPの差から推定）と仮定し算出

## 6. 他の設備への応用性

### (1) 畜産産業への導入

近年、地球温暖化による気候変動幅が大きく夏期・冬期に於ける家畜への空調設備導入が問題となっている。特に暑さに弱い家畜では、冷房による生産性向上の効果が高い。

### (2) 菌茸栽培への導入

昨今の化石燃料高騰により菌茸栽培業者の経営を圧迫しており、冬期の栽培を中断する業者も多い。特に、積雪地域においては地下水熱利用型ヒートポンプが化石燃料温風暖房機の代替機種となり、昨年当社納入の秋田県しいたけ農家はこの冬の生産量が前年の3倍近くまで増産されたほか、設定温度の調整により生育を調節し、高価格期に出荷を増やし、所得が格段に向上している。

### (3) 降雪寒冷地の工場空調への導入

地下水熱利用型ヒートポンプを福井県農業試験場に納入後、見学者の方から工場空調に導入したいとの要望があり、現在検討中である。

当社、地下水熱利用型ヒートポンプは一体型、セパレート型の機種選定ができ、室内機も各種選択可能なため、新たなニーズになると考えている。

北海道等寒冷地区への導入もPRしたい。

## 7. 環境保全、便利性等 (CO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、SO<sub>x</sub>等の排出抑制、取扱易さ、応用性等)

### (1) CO<sub>2</sub>排出抑制計算

前記の表3 暖房方法別の消費エネルギーから、CO<sub>2</sub>の排出量を計算した。

表8 暖房方法別のCO<sub>2</sub>排出量

暖房方法	項目	11月	12月	1月	2月	3月	期間計
地下水熱利用型 ヒートポンプ	HP電力	94	241	298	247	153	1,032
	井戸 "	38	92	96	80	49	355
	小計	131	333	394	327	202	1,387
石油式温風暖房 機	燃油	622	1,342	1,525	1,147	695	5,332
	電気	29	58	64	47	27	224
	小計	651	1,400	1,589	1,194	723	5,556

※電気:0.39kg-CO<sub>2</sub>/kwh、燃油:2.49kg-CO<sub>2</sub>/Lとして計算。各暖房面積 142.5 m<sup>2</sup>。設定温度 13°C。

<CO<sub>2</sub>排出抑制量比較 (142.5m<sup>2</sup>あたり)>

①地下水熱利用型ヒートポンプ排出量 1,387kg

②石油式温風暖房機排出量 5,556kg

③CO<sub>2</sub>排出抑制量 5,556kg-1,387kg=4,169kg

④CO<sub>2</sub>排出抑制率 4,169kg÷5,556kg≒75.0%

地下水熱利用型ヒートポンプは石油式温風暖房機に対して75.0%抑制できる。

### (2) 取扱易さ

#### ア 4段変温サーモ

- ・1日24時間を4つの時間帯ごとに設定温度を変えられるため、栽培品目の生育に応じた温度制御が可能で、無駄な地下水や電気代を使わず、ハウスの温度管理が効率的にできる。
- ・時間帯・温度設定ともダイヤルとタッチパネルで視覚的に容易に設定できる。

#### イ 制御盤操作も簡単

- ・運転スイッチの「運転」「停止」で簡単に操作可能。
- ・冷房・暖房切替スイッチ操作も各シーズンに一度設定切替を行うだけ。

#### ウ 地下水自動制御システム機能

- ・ヒートポンプの圧縮機運転に電動バルブが連動して地下水の給水・止水をするので、地下水の節水になる。
- ・電動バルブのメンテナンスはヒートポンプ運転時でもバイパスバルブにより可能。

#### エ 吸込フィルターの清掃

- ・フィルター上部2個所のレバーをドライバーで操作することでフィルターの脱着が可能。

#### オ 地下水カートリッジ式ストレーナ

- ・地下水の砂や不純物が詰まった場合カートリッジを容易に脱着でき、洗浄メンテナンスが容易。

#### カ 一体型で設置が容易

- ・一体型の本体であるため、セパレート型のような配管が不要となり、設置が容易である。

#### キ コンパクトなサイズで設置場所を選ばない

- ・高さが1,600mmと低いため、従来から使用されている軒高の低いハウスでも設置が可能である。

#### ク オプション選択

- ・水量計、アワーメーターなどのオプションを付けることにより、日々の使用水量や稼働時間を確認でき、機器の異常を推測できる。

### (3) 応用性

- ア 暖房運転時のヒートポンプの熱交換後の排水を、ビニルハウスに既設の融雪用配管に接続し、ビニルハウス廻りの融雪に再利用することができる（福井農試で実証済み）。
- イ 夏季の冷房運転時のヒートポンプの熱交換後の排水を、乾燥するハウス内の加湿や、ミスト散水等による冷房補助として再利用できる可能性がある（検討中）。
- ウ 地下水熱利用型ヒートポンプは、スイッチ切替ひとつでオールシーズン冷暖房運転が可能。

## 9. 工夫した点、発想した点、創作した点、新しい点等、設備の特徴

### (1) 地下水熱利用型ヒートポンプシステムの工夫した点

- ア 空気熱源式熱交換器の仕様と施工方法
- イ 水熱交換器の選定と支持方法
- ウ 冷媒配管施工方法
- エ 自動制御回路
  - ・ 4 段変温サーモの選定
  - ・ 4 段変温サーモとヒートポンプ機能との制御システム構築
  - ・ 地下水制御方法
- オ ヒートポンプ寸法・パネル塗装色

### (2) 地下水熱利用型ヒートポンプの発想した点

- ア 化石燃料に対する代替エネルギーである地下水を熱源として考えたこと
- イ 同等機種がどのメーカーにも無いこと
- ウ 除霜（デフロスト）運転が無く高効率運転となること

### (3) 地下水熱利用型ヒートポンプの創作した点

- ア ビニルハウス内の温度平準化のため高静圧ダクトタイプを選定
- イ 丸ダクト設備として吹出空気分散化を考えた

### (4) 地下水熱利用型ヒートポンプの新しい点

- ア 現在のところ、類似ヒートポンプが無いため、脱・エネルギーの救世主として全てが新しい

### (5) 地下水熱利用型ヒートポンプの特徴

- ア 前記 8 項の (2) および 9 項 (1)～(4) が設備の特徴です

## 10. 市場性、販売状況、適応市場の大きさ、競合品又はシステムとの比較、販売実績（国内、外）等

### (1) 市場性

化石燃料に変わる代替エネルギーとして地下水は有望であり、積雪寒冷地における園芸ハウスの必需機器として大きな市場があると考えられる。

### (2) 営業状況

北海道道庁、北海道鶴川農協、宮城県農研機構、鹿児島県日本地下技術殿などへのお見積り対応しております。

### (3) 適応市場の大きさ

- ア 積雪寒冷地域の施設園芸業者全道県
- イ 積雪寒冷地域の菌茸栽培業者全道県
- ウ 積雪寒冷地域の産業用空調設備工事対応全道県
- エ 積雪寒冷地域の畜産業者全道県

### (4) 競合品又はシステムとの比較

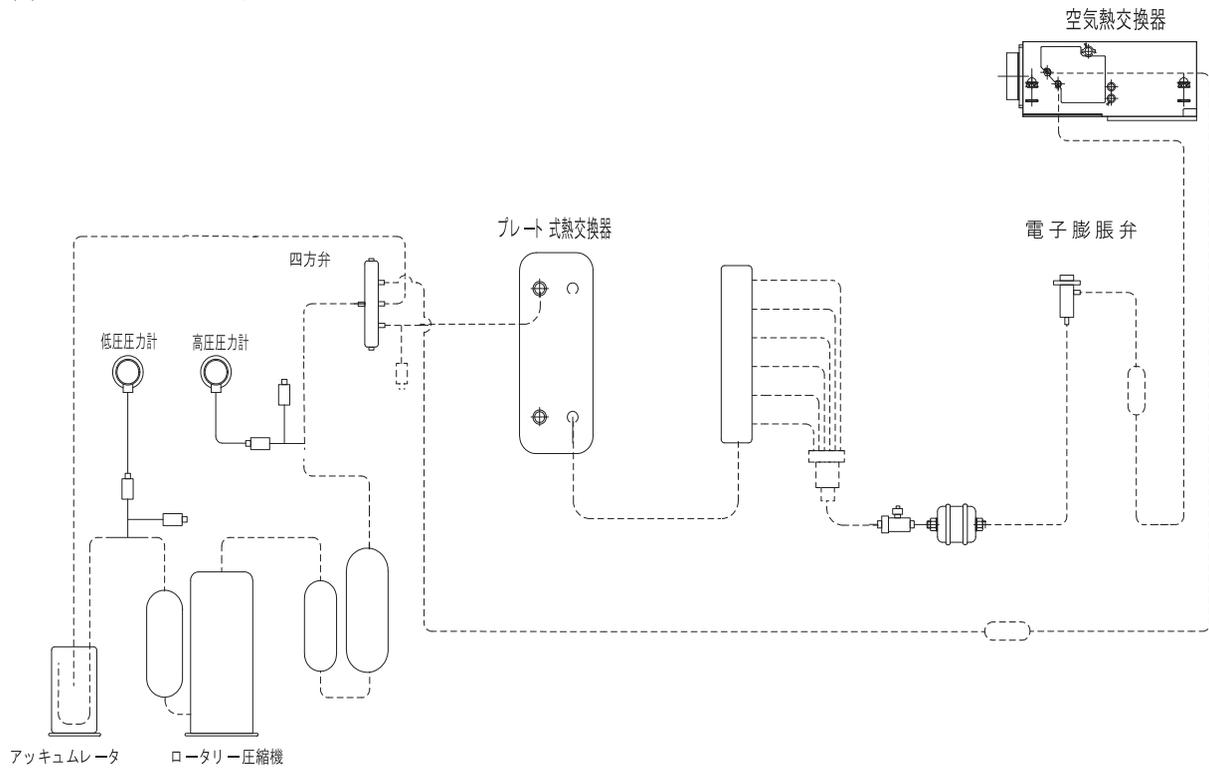
現段階では、競合品が無くシステム比較もできない。

(5) 販売実績（国内のみ）

- ア 福井県 福井県農業試験場 殿
- イ 秋田県 (有)モコ 殿

11. 外観・構造

(1) システムフロー図



(2) 外観写真



写真20 正面写真



写真21 裏面写真