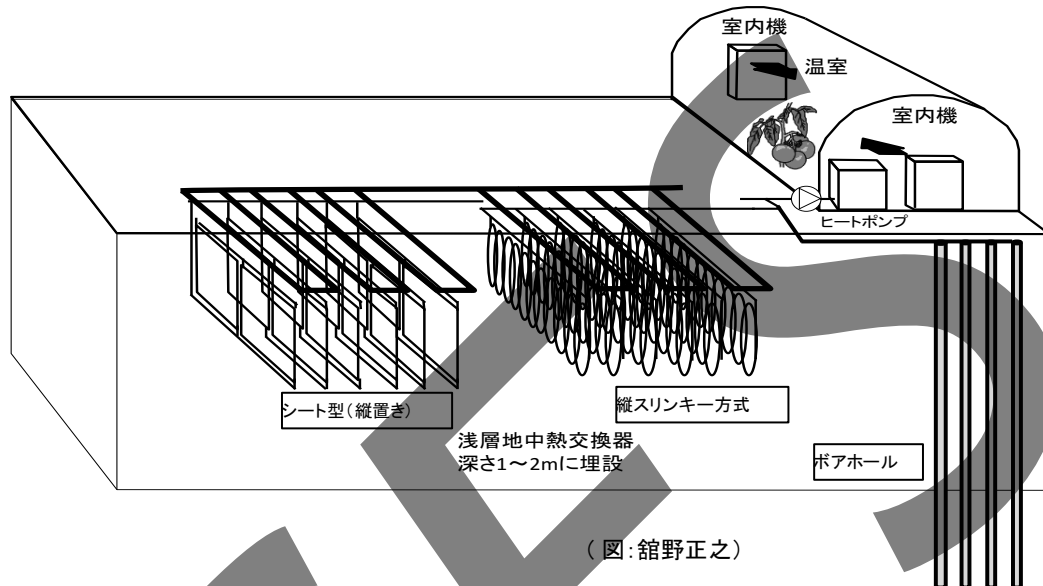


地中熱や水槽を熱源とした ヒートポンプの農業への応用

農研機構 農村工学研究部門 農地基盤工学研究領域 農業施設ユニット
奥島 里美



◆ 温室側の必要熱量

- ◆ 熱量算定
- ◆ 暖房負荷
- ◆ 冷房負荷

◆ 地中熱源側の供給熱量

- ◆ 実証試験例
- ◆ 熱交換性能
- ◆ 熱供給性能

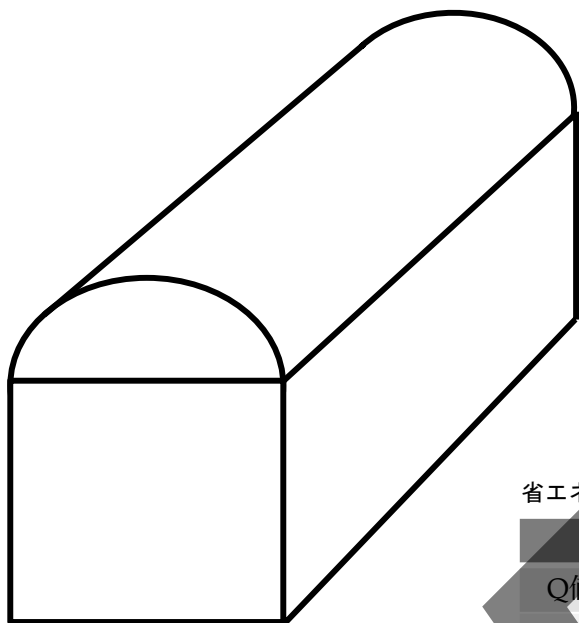
◆ 課題と改善方法

- ◆ コストと課題
- ◆ 改善方法
 - ◆ 水熱源
 - ◆ 太陽集熱との組み合わせ

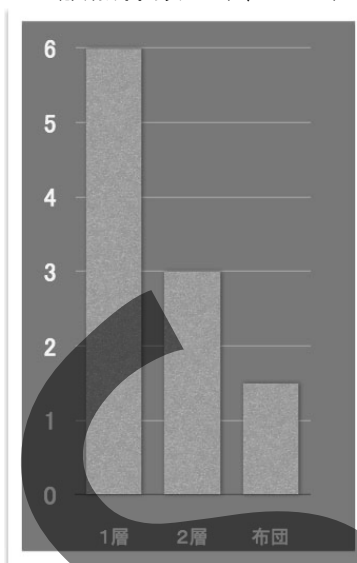
◆ 関係プロジェクトリスト

暖房負荷係数＝放熱係数－α

暖房負荷＝暖房負荷係数 × 内外気温差 × 被覆面積 × 暖房時間



放熱係数 (W/m² °C)



省エネ住宅基準 (W/m² °C)

	I	II	III	IV	V	VI
Q値	1.6	1.9	2.4	2.7	2.7	3.7
U値	1.1	1.3	1.6	1.8	1.8	2.5

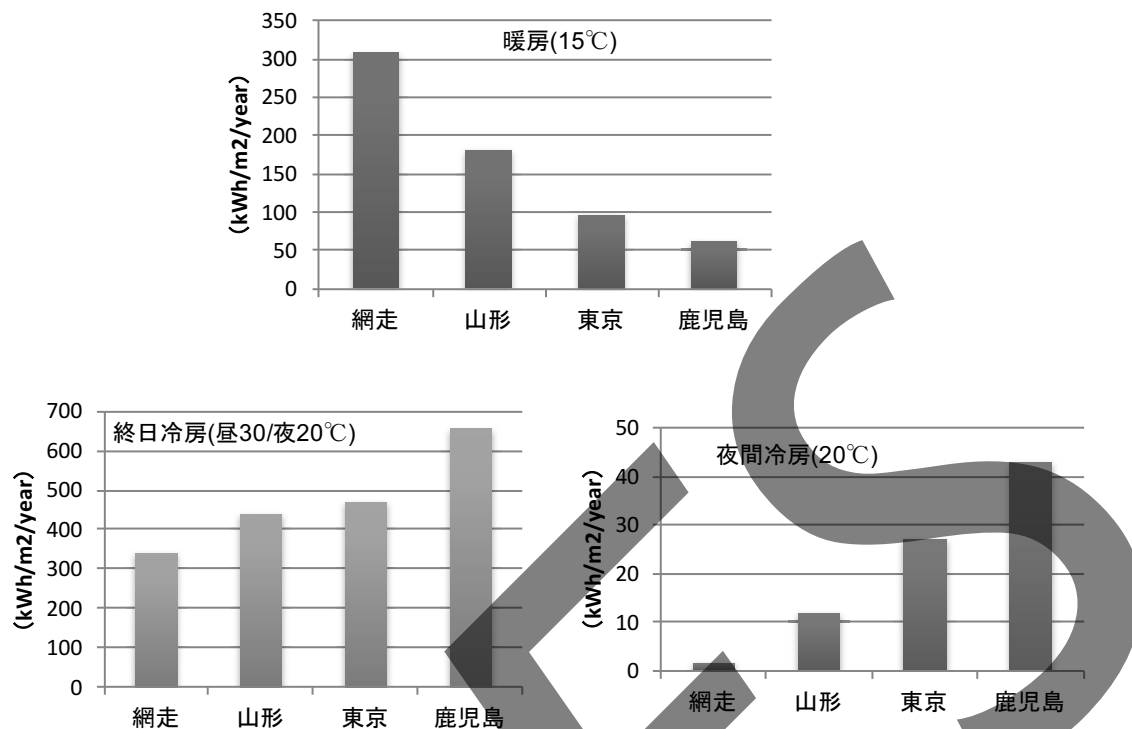
3

◆日本における温室暖房・冷房負荷の特徴

kWh m ⁻² /year *	網走	山形	東京	鹿児島
暖房(15°C)	308	181	96	64
終日冷房(昼30/夜20°C)	339	439	470	657
終日冷房(昼25/夜15°C)	422	551	605	817
夜間冷房(20°C)	2	12	27	43
夜間冷房(15°C)	13	44	70	99

* 1200m²の一般的な省エネハウスを想定した計算値。

◆日本における温室暖房・冷房負荷の特徴



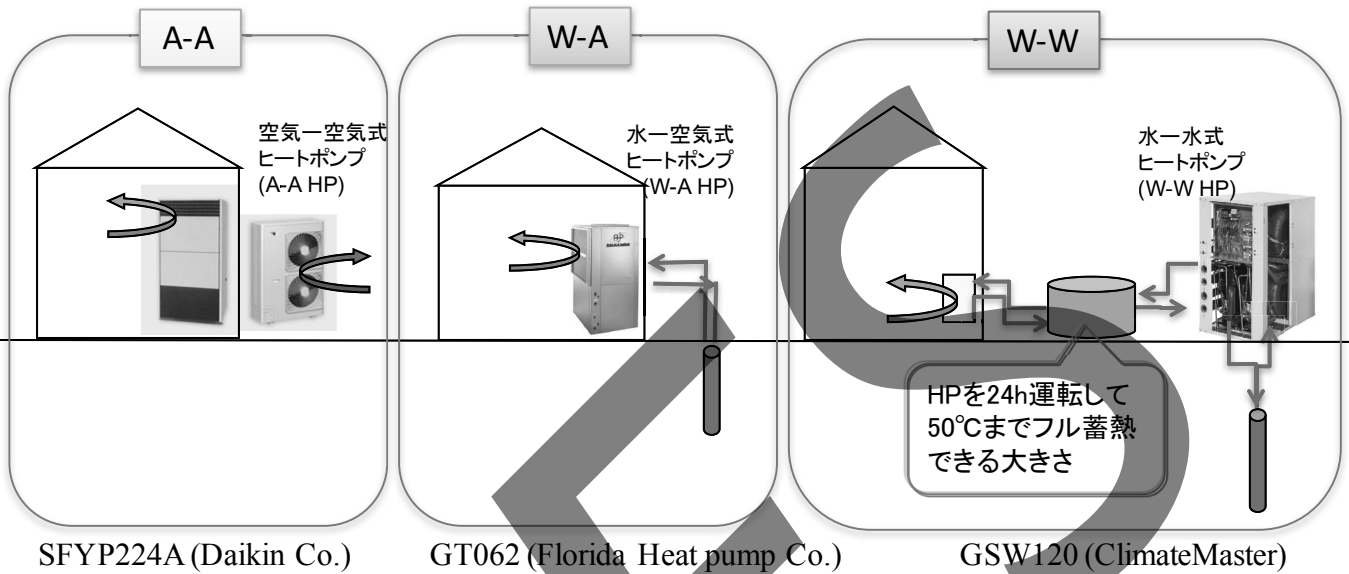
◆日本における温室暖房・冷房負荷の特徴

* 1200m²の一般的な省エネハウスを想定した計算値。

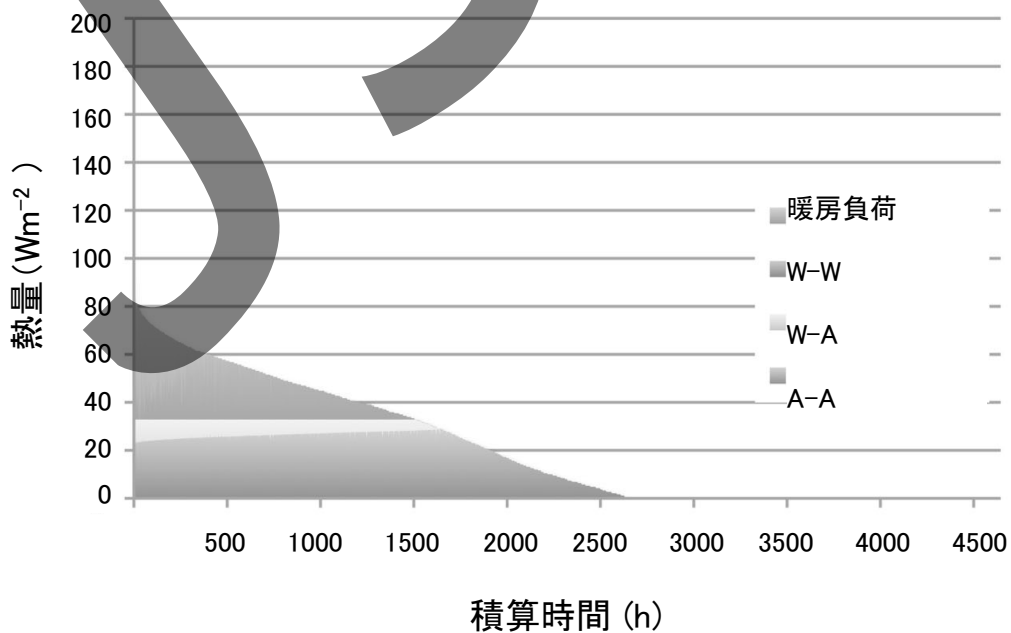
円/m ² /year **	網走	山形	東京	鹿児島
暖房(15°C)	2,567	1,508	800	533
終日冷房(昼30/夜20°C)	2,825	3,658	3,917	5,475
終日冷房(昼25/夜15°C)	3,517	4,592	5,042	6,808
夜間冷房(20°C)	17	100	225	358
夜間冷房(15°C)	108	367	583	825

** 単純にCOP3、1kWh=25円として換算。基本料含まず。

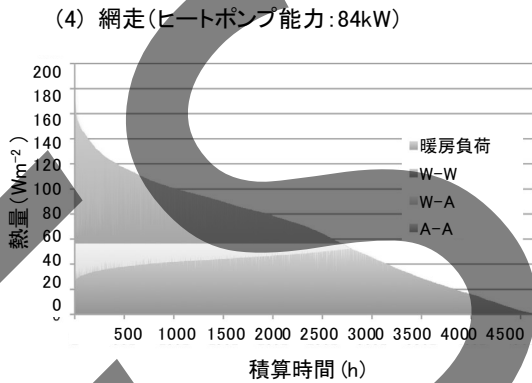
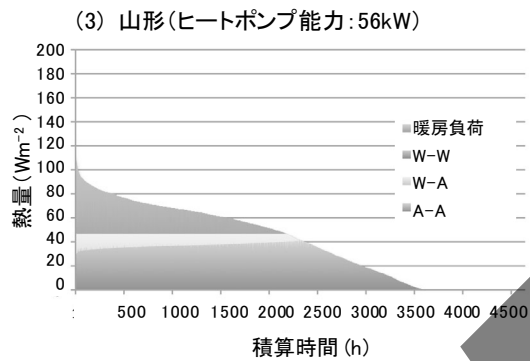
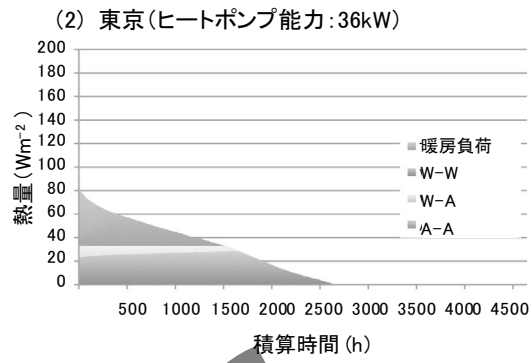
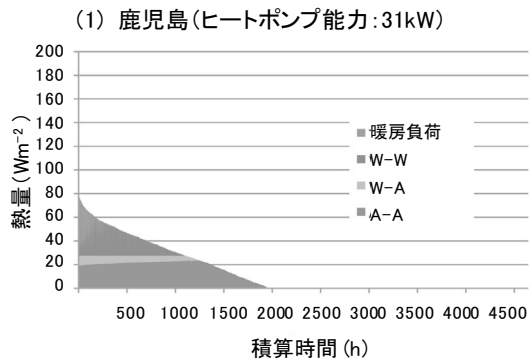
◆ヒートポンプを利用した温室暖房システム



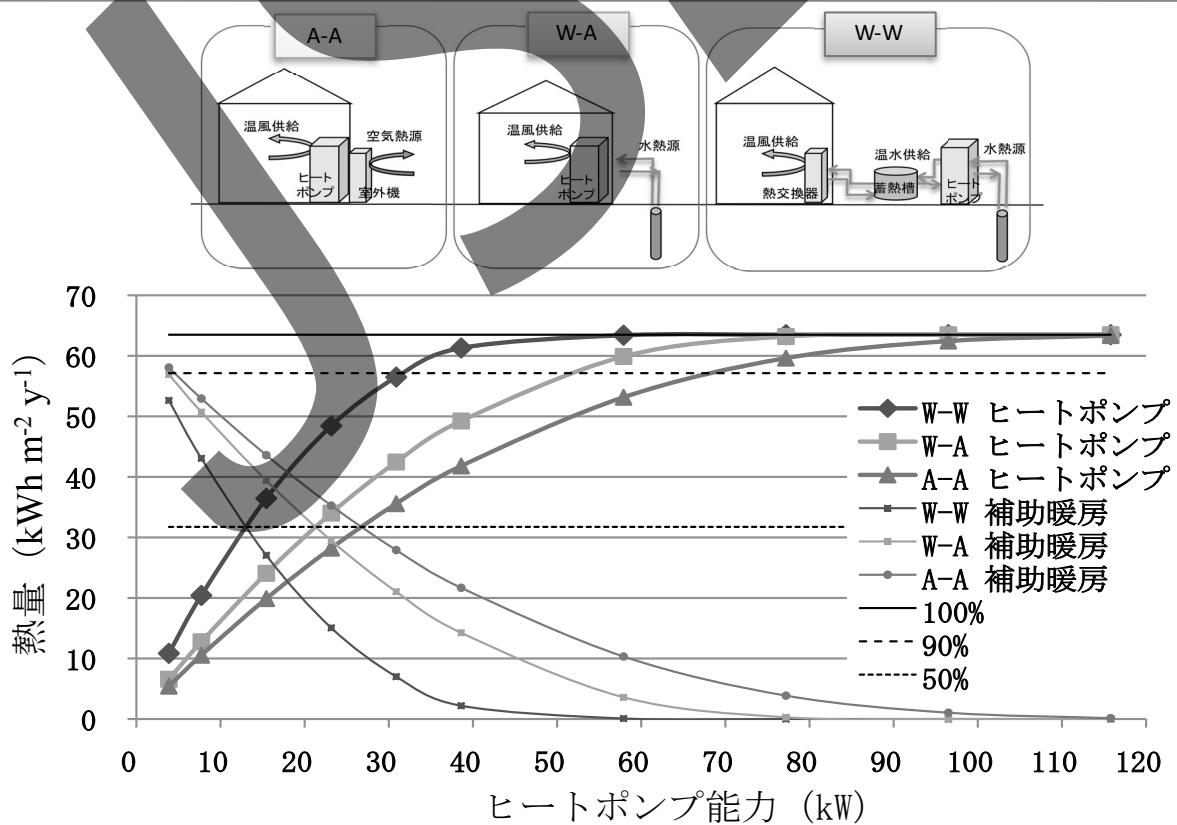
東京(ヒートポンプ能力:36kW)



1200m²ハウスで暖房設定気温が15℃の場合の時間別暖房負荷
とヒートポンプシステムによる時間別暖房供給熱量



1200m²ハウスで暖房設定気温が15℃の場合の時間別暖房負荷
とヒートポンプシステムによる時間別暖房供給熱量



ヒートポンプによる年間暖房供給熱量, 鹿児島1200m², 暖房設定15℃
(%表示は全暖房必要熱量の50, 90, 100%のラインを示している。)

90%暖房HPIによる夜冷性能

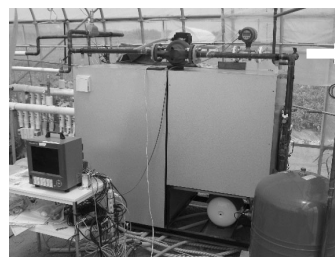
(1200m²温室, 15°C暖房設定)

場所	HP type	冷房量 (kWh m ⁻² y ⁻¹) 夜冷20°C	冷房量 (kWh m ⁻² y ⁻¹) 夜冷15°C	冷房率(%) 夜冷20°C	冷房率(%) 夜冷15°C
東京	W-W, 50 kW	26.9	68.5	100	97
	W-A, 80 kW	25.5	28.2	95	40
	A-A, 108 kW	26.7	34.7	99	45
山形	W-W, 77 kW	12.2	43.9	100	100
	W-A, 139 kW	12.2	43.9	100	100
	A-A, 143 kW	12.2	42.2	100	96
網走	W-W, 116 kW	2.4	12.9	100	100
	W-A, 162 kW	2.4	12.9	100	100
	A-A, 255 kW	2.4	12.9	100	100
鹿児島	W-W, 42 kW	43.2	88.2	100	89
	W-A, 69 kW	26.9	21.0	62	21
	A-A, 93 kW	37.0	32.5	86	33

温暖地園芸施設向けの低コストで実用的な地中熱提供方法の開発(農水省委
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」

寒冷地園芸施設向けの低コストで実用的な地中熱提供方法の開発 (北海道大学、サンポット、北海道花・野菜技術センター)

北海道で周年栽培 アルストロメリア



SCOP 3.5
ランニング
コスト
削減率
50%



ハウスに隣接する農地(大豆や麦を耕作)
に採熱管を埋設
採熱による作物生育への影響がないこと
を確認



採熱方法: 深さ1.2mの
水平横スリンキー方式



採熱方法: 深さ1~2mの
水平縦スリンキー方式

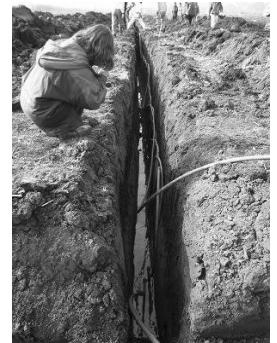
単位採放熱係数

地中熱交換器

採熱方式	[W/(m・K)]
20A横スリンキー(北海道)	4.11
// 砂充填(//)	4.06
SMTX横スリンキー(//)	4.06
20A水平(//)	3.84
20A縦スリンキー(//)	3.87
25A横スリンキー(//)	3.94
// 薄肉管(//)	4.03
// 砂充填(//)	4.67
25A縦スリンキー(つくば)	2.94
縦Gカーペット(つくば)	3.33
横Gカーペット(福岡)	3.51



(北海道)



(北海道)



(福岡)

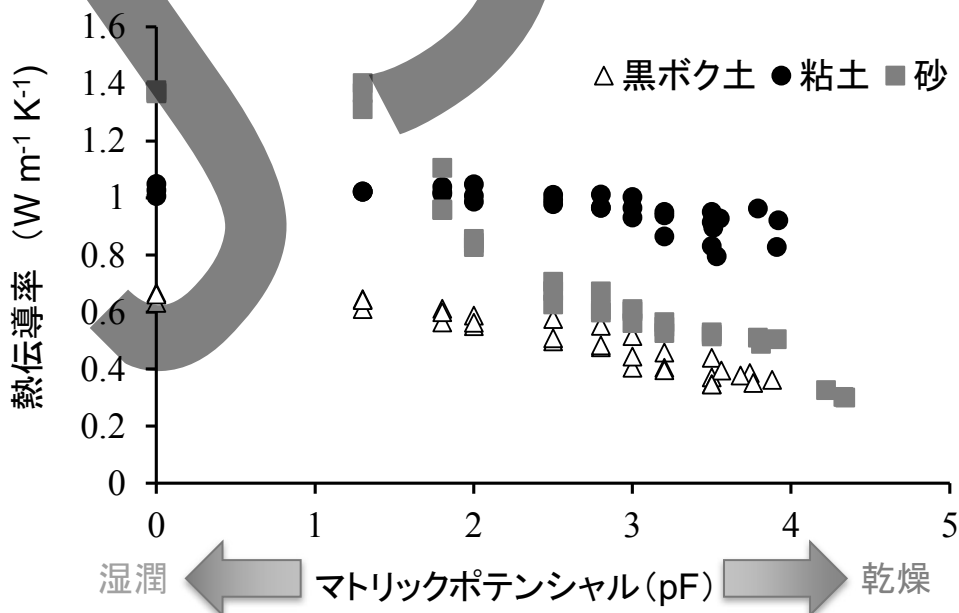


(つくば)

(北海道、長野克則ら)

・浅層(不飽和帯)土壌の熱物性の解明

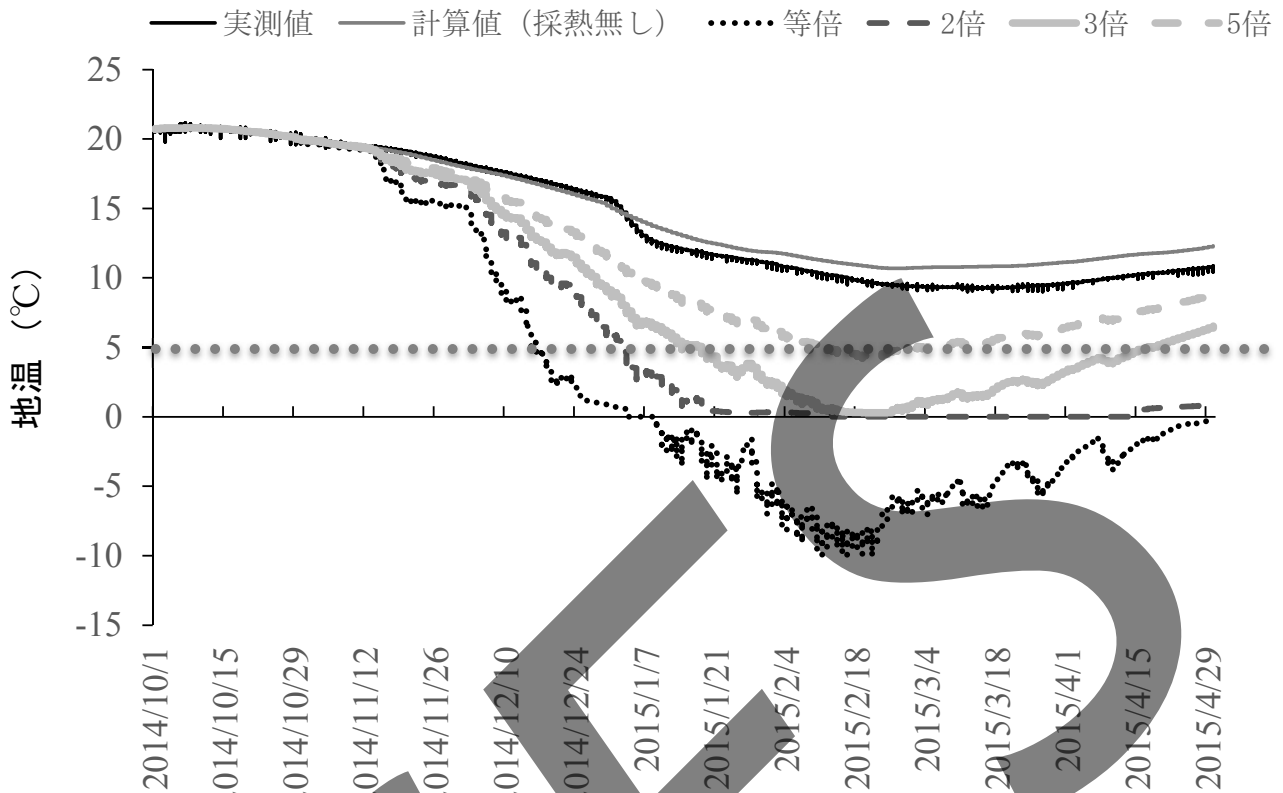
熱伝導率と土壌の水分状態(マトリックポテンシャル:pF)の関係 (つくば)



砂は土壌水分状態の違いにより熱伝導率が大きく異なる

(岩田幸良)

・効率的に地中熱ヒートポンプを稼働させるための採熱面積



(岩田幸良)

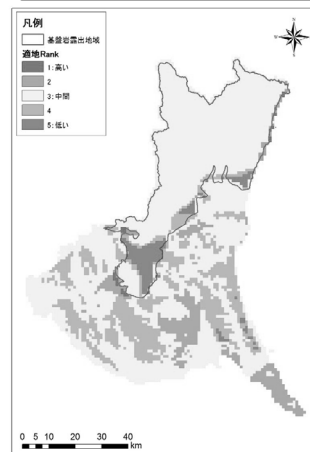
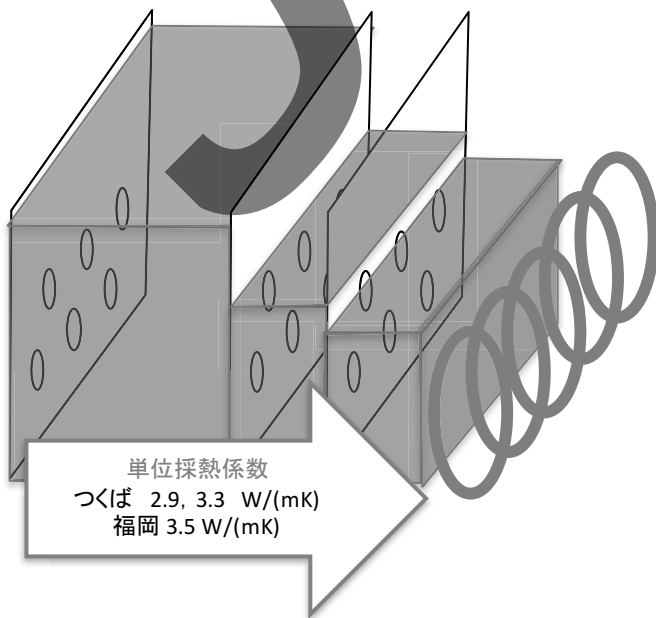
温暖地園芸施設向けの低コストで実用的な地中熱提供方法の開発(農水省委
プロジェクト研究)「施設園芸における熱エネルギーの効率的利用技術の開発」

温暖地の 地中熱ポテンシャル評価

- ◇ 地中における水分移動-熱移動解析
- ◇ 不飽和土壌での長期的な採熱効率: 粘土 > 山土 > 黒ボク土 > 砂
- ◇ 必要採熱面積 ハウスの3~5倍

地盤の熱物性値(有効熱伝導率)+pF値シナリオ(タンクモデル、広域モデル、詳細モデル)に基づく

農業用浅層型地中熱利用システムの ポテンシャル評価



茨城県版の完成

全国への展開

(内田良平)

つくばでのコスト試算
(ヒートポンプ8:重油2)

熱需要側	暖房設定気温	13℃
	ハウスQ値 (W/(m ² ℃)) 昼/夜	6.72/5.20
	ハウス面積 (m ²)	1,000
	最大暖房負荷 (W/m ²)	118
	年間暖房負荷 (kWh/m ²)	124
	最大暖房負荷 (kW/棟)	118
	年間暖房負荷 (kWh/棟)	123,700
	ヒートポンプ能力 (kW)	60
	ヒートポンプ年間供給熱量 (kWh)	98,960
	補助暖房能力 (kW)	60
熱供給側	選定したヒートポンプの能力 (kW)	60
	循環水量 (ℓ/min)	320
	採熱管長 (m)	26,239
	溝長 (m)	2,624
	不凍液量 (m ³)	14.2
初期費用	計 (千円)	23,346
	ヒートポンプユニット (千円) (単価: 100千円/kW)	6,000
	採熱管材料費 (千円) (単価0.35千円/m)	8,996
	掘削費 (千円)	自家施工
	配管・電気工事 (千円)	1,000
	不凍液 (千円) (単価: 400~933千円/m ³)	5,698
	循環ポンプ (千円)	352
	配管部材 (千円)	1,300

17

10a、1年		農行		地中熱ヒートポンプ		
栽培方法	つくば	単位	つくば	単位		
地域	つくば		つくば			
面積	10 a		10 a			
初期コスト	合計	万円			2335 万円	ハイブリッドにすることにより118→60kWヒートポンプに変更
内訳	ハウス(既存)	- 万円	ハウス(既存)	- 万円		
	暖房機(既存)	200 万円	暖房機(既存)	万円		
			地中熱システム	2335 万円		
ランニングコスト	合計	94 万円	合計	84 万円		
内訳	重油代(70円/Lで計算)	94 万円	重油代	19 万円		
	電気代(20円/kWhで計算)	万円	電気代(夜間冷房含む)	65 万円		
	その他(資材、人件費等)	万円	その他(資材、人件費等)	万円		
作物	トマト		トマト			
夜間平均管理温度	13℃		13℃			
局所加温	-℃		25/夜冷20℃			
収量(定植後23週間データ→40週間に)	25 t		30 t		夜冷による作期拡大8ヶ月→10ヶ月	
収入(1kg 350円計算)	875 万円		1050 万円			
増加額(ランニングコスト減少分+収入増加分)			185 万円			
補助(予定)			1168 万円		半額補助を想定	
減価償却費総額(初期コスト-補助)			1168 万円			
償却期間(減価償却費総額/増加額)			6 年			
備考	補助は半額を想定					
	一般的な省エネハウスの0.2aから10aへ換算					
	償却期間は収入増とランニングコスト削減費を足したもので、減価償却費を割り算					

地中熱利用のメリット

安定した吹出温度が得られる。

COPが高め、安定。HP普及後のさらなるCO2排出抑制効果

適正にインストールされれば、ほぼ管理作業なし。

長期利用が可能 アグリインフラとなる

低コスト化のために

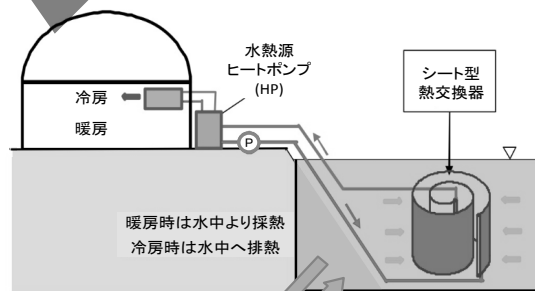
！熱需要量を減らす→断熱性能を上げる／局所加温、など。

ランニングコストの削減メリットも低下する。

！採熱の熱交換効率を上げる→太陽熱利用、農業用水の利用、など。

農業用水の利用

水槽からの採熱効率は地中からの採熱効率の4～5倍
シート型熱交換器1枚の水槽での採熱効率は589～
1302W °C⁻¹であり、熱交換器1枚で2.4～6kWの能力の
ヒートポンプに対応できる。



水理実験施設と循環



2017.3.14

日本太陽エネルギー学会／太陽光化学・バイオ部会、太陽熱部会、太陽光発電部会
研究講演会〔太陽エネルギー利用技術と農林水産業の融合〕



農研機構

農業用水の利用



東京都昭島市中神町

幅:2.7m
側壁:0.95m
基底流量:0.01m³/sec

(後藤眞宏)



ファンコイル
ユニット

地中熱ヒートポンプ
暖房:10kW,冷房
10kW



NEDO, 地中熱・流水熱利用型クローズドシステム
技術開発:

流水熱・浅層地下水熱交換器の開発・実証試験
(設置コスト削減)

ジオシステム(株), 農研機構農村工学研究部門, 金沢大学

2017.3.14

日本太陽エネルギー学会／太陽光化学・バイオ部会、太陽熱部会、太陽光発電部会
研究講演会〔太陽エネルギー利用技術と農林水産業の融合〕



農研機構

局所加温、太陽熱の利用

宮城県亶理郡山元町



地中熱交換器



実証施設



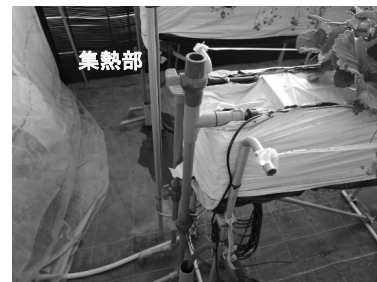
対照 空冷HPチラー



ハイブリッドHP



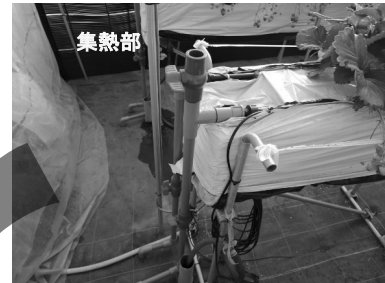
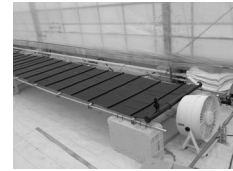
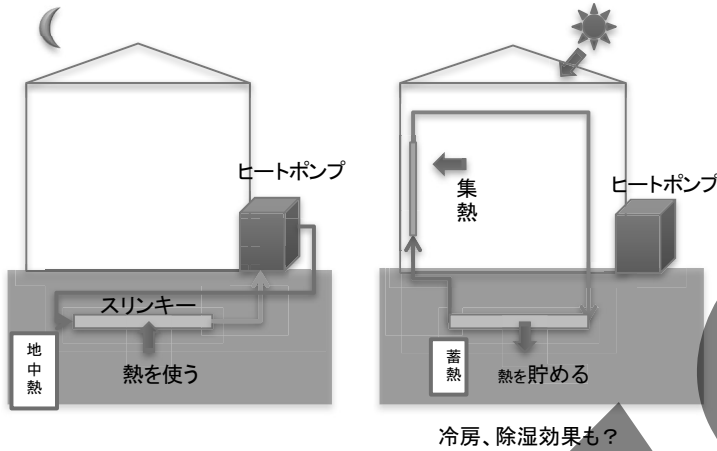
ポンプとタンク



集熱部

復興庁・農林水産省
施設園芸栽培の省力化・高品質化実証研究(施設園芸・網羅型研究)
東北地方の気象資源を活用したトマト等の高収益周年生産システムの
開発

局所加温、太陽熱の利用



復興庁・農林水産省
 施設園芸栽培の省力化・高品質化実証研究(施設園芸・網羅型研究)
 東北地方の気象資源を活用したトマト等の高収益周年生産システムの開発
 「再生可能エネルギー利用に基づく統合環境制御手法の構築と実証」
 農研機構農村工学研究部門, 東京農林総合セ, ジオシステム(株)

温暖地園芸施設向けの低コストで実用的な地中熱提供方法の開発(農水省委プロジェクト研究) 「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」H25-27

**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」)

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 野菜茶業研究所 施設園芸研究領域
 農研機構農村工学研究部門 農村工学研究所 農地基盤工学研究領域
 国土研究所
 〒200-8509 茨城県つくば市 茨城大学 農学棟 3-1-1

- 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
- 館野 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