

### 3(1) 全国の浅層地温データベース

#### 1. 目的

地中熱は年間を通して変動が小さく、どこでも利用可能な熱資源として期待されています。本研究では、地域によって異なるハウス暖房への地中熱の導入効果をあらかじめ算定できるように、全国の浅層地温データベースを作成します。

#### 2. 成果の概要

天気予報モデルの一種である WRF 領域気象モデル を用いた気象シミュレーションと全国 23 カ所で実施した地温の長期観測に基づき、はじめて、深さ 2m までの地温分布のデータベース（期間：2013 年 8 月～2014 年 3 月、2014 年 8 月～2015 年 3 月は計算中、解像度：3km）を作成しました。

全国の深さ 2m の地温再現結果の（図 1）と地温観測点における再現性の例（図 2）を示します。

本データベースを外部条件とすることにより、全国各地で太陽光、地中熱を積極的に利用した様々なハウスの省エネ技術の導入効果がシミュレーションできるようになります。

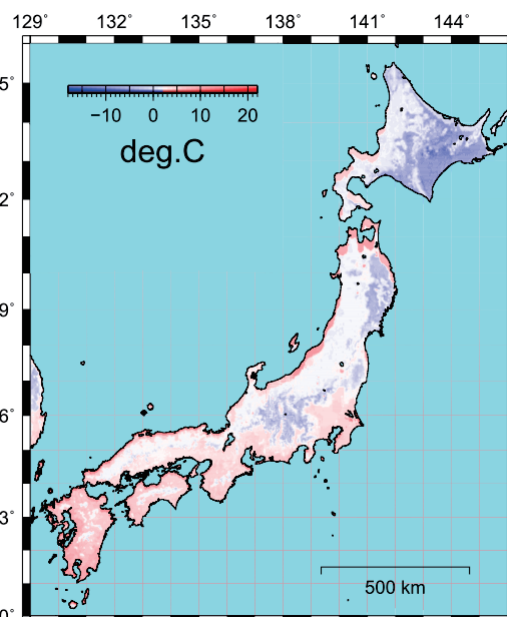
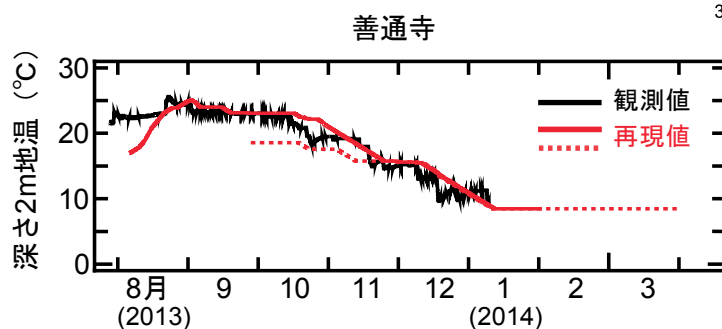


図 1 深さ 2m の地温分布再現例  
(2014 年 1 月)

図 2 香川県善通寺市における  
地温の再現性

国立研究開発法人 農業・食品産業技術総合研究機構  
九州沖縄農業研究センター TEL 096-242-7766  
柴田 昇平

## 3(2) 地中熱交換推定モデルの開発

### 1. 目的

地中熱は年間を通して変動が小さく、どこでも利用可能な熱資源として期待されています。本研究では、空気を媒介して地中から取り出せる熱量をあらかじめ算定できるモデルを開発します。

### 2. 成果の概要

地面と平行に埋設した円管（図1）を用いた空気-土の地中熱交換装置の熱交換空気温度の解析解を得ました。この式を用いて空気の温度変化をシミュレーションした結果、円管周囲の地温  $\theta_s$ 、吸気温度  $\theta_a$ 、空気の流速  $v$  から、熱交換された空気の温度  $\theta_f$  が適切に推定できることを明らかにしました（図2）。

周囲の土の熱伝導よりも小さな速度でゆっくりと地中熱交換を行うことにより、持続的、周年的に地中熱利用が可能となります。

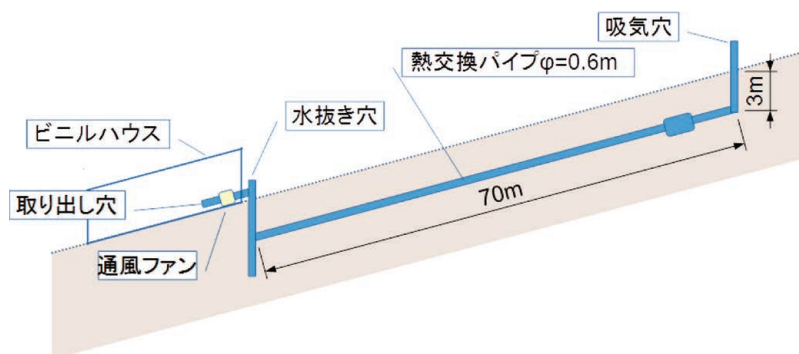


図1 空気-土の地中熱交換を利用した温室の環境制御装置

※ 本試験は傾斜地にて実施されましたが、平坦地でも同様の性能を期待できます。

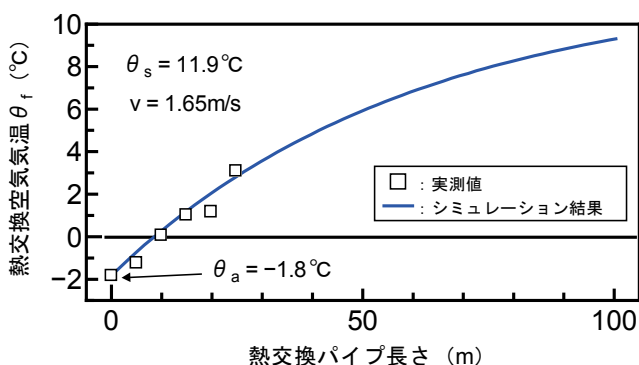


図2 熱交換気温実測値とシミュレーション結果の比較

国立研究開発法人  
農業・食品産業技術総合研究機構  
九州沖縄農業研究センター  
TEL 096-242-7766  
柴田 昇平

### 3(3) 浅い溜池の底層に設置した熱交換器の冷却性能

#### 1. 目的

浅い溜池(水深 2~3m)は、低コストで熱交換器の敷設が可能という利点があります。その具体的な冷却性能を明らかにします。

#### 2. 成果の概要

ヒーターで加熱した水(40~55°C)(500L)を浅い溜池の底に設置した熱交換器(図1の右上写真、表1)の管内に循環させて、熱交換器への流入前と流入後の水温差を測定しました(図1の左上写真)。その結果、7月下旬~8月中旬でも流入前後で約16°C(平均値)の水温低下が確認できました(図2)。浅い溜池でも熱対流によって底部には冷水が堆積し、底層水温は7月下旬でも20°C程度で、外気温より15°C以上も低い状態の冷熱源であることがわかりました。

熱交換器の設置位置を中心として、溜池内の各所で層別に水温を測定し、熱交換器の連続利用による冷熱源の状態変化を解析しました。この結果、底層の水温は気象変化の影響を受けるものの、ヒートポンプの排熱先として有望であるとの結論を得ました。

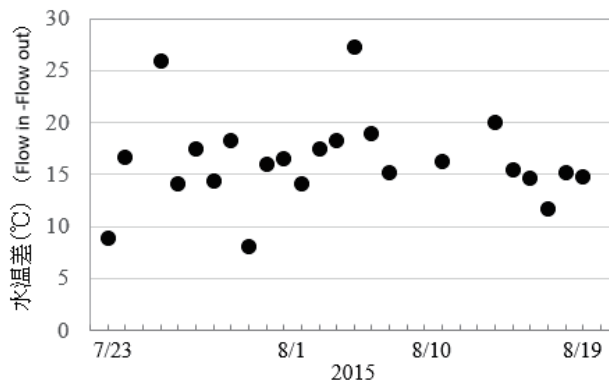
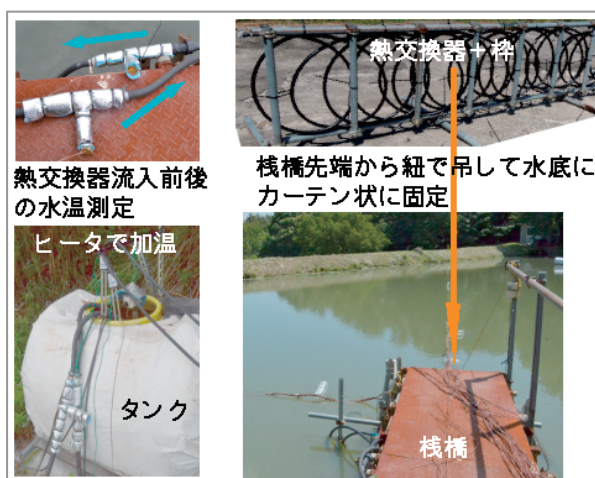


図2 熱交換器への流入前後の水温差

図1 熱交換器の敷設方法と管内水温測定

表1 熱交換器および水循環系の諸特性

タンク容量 (リットル)	熱交換器 パイプ素材	C: 熱交換器 パイプの 熱伝導率 (W/mk)	熱交換器 パイプ メーカー	熱交換器 のパイプ 長さ(m)	熱交換器 のパイプ の内径 (mm)	熱交換器 のパイプ の外径 (mm)	D: 熱交換器 のパイプ の肉厚 (mm)	循環水の 流量計実 測値 (l/min)	タンク内全 量が1回循 環する所 要時間 (min)	S: 熱交換器 のパイプ 外側表面 積(m <sup>2</sup> )	S/D	循環ポン プ
500	低密度ポリ エチレン	0.33	ネタフイム	50	21.2	25	1.9	3.9	128.0	3.925	2066.0	寺田SL52

国立研究開発法人農業・食品産業技術総合研究機構

近畿中国四国農業研究センター TEL 0877-63-8131

佐藤恵一・吉越 恆・長崎 裕司

### 3(4) イチゴ高設栽培における太陽エネルギーの蓄熱利用技術

#### 1. 目的

イチゴ高設栽培に太陽エネルギーの蓄熱利用システムを組み入れ、ハウスの保温効果を高める多層被覆資材との組み合わせにより、イチゴ高設栽培における暖房コストの大幅削減技術を実証します。

#### 2. 成果の概要

住宅用地中熱利用換気システム「GEO パワーシステム」(株)ジオパワーシステム)の蓄熱技術をイチゴ高設栽培システムに応用する技術を開発しました。従来はハウス外へと換気排出していたハウス内暖気を、日中は栽培槽下の栗石層に供給して蓄熱し、夜間は培地を保温する熱源として利用します(図1)。

ハウス内張被覆用に開発された多層被覆資材(商品名:サニーキルト(東洋殖産株))は、断熱性に優れるとともに、従来の「布団資材」と呼ばれる資材と比べて薄く軽量で取扱い性に優れるものです(図2)。

これらを組み合わせた実証では、栽培期間(9月より翌年5月まで)を通して暖房用燃料を使用せずに、ハウス内気温を4℃以上、培地温を10℃以上に維持できました。これにより、イチゴ品種‘かおり野’及び‘紅ほっぺ’の栽培で基準単収4t/10aを確保しつつ、慣行栽培(ハウス内気温を温風暖房機で8℃以上に維持)に対して、暖房コストの8割削減が可能となりました(表1)。

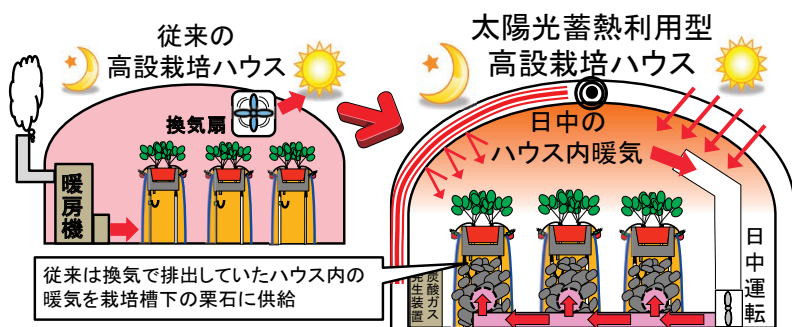


図1 イチゴ高設栽培での太陽光蓄熱利用システム



図2 多層被覆資材の外観

表1 イチゴ高設栽培で暖房方法が異なる場合の10a当たり暖房コスト(2014年作)

暖房方法	暖房方法	燃油使用量(L)	電力使用量(kwh)	暖房コスト <sup>※2</sup> (千円)
実証	太陽エネルギー蓄熱利用システム	0	3529	91
慣行	温風暖房機(8℃設定)	4675	0	475

※1 各値は実証ハウス面積(実証:136㎡、慣行:163㎡)を基にした算定値

※2 実証技術は送気ファン使用電気料金を中国電力管内の農事用電力C契約で計算

灯油単価101.61円/Lで換算(石油情報センター調べ、平成27年1月5日山口県配達灯油価格)

山口県農林総合技術センター  
TEL 083-932-0211  
鶴山浄真・日高輝雄

### 3(5) イチゴ地床栽培における株元局所加温ヒータの利用技術

#### 1. 目的

イチゴの温度感応部位が株元クラウン部であるとの知見を活かし、株元のみを効率的に加温する専用ヒータを活用し、ハウスの保温効果を高める多層被覆資材との組み合わせにより、イチゴ地床栽培における暖房コスト半減効果を実証します。

#### 2. 成果の概要

イチゴ株元局所加温の専用ヒータ（商品名：クラウンヒーター（株）光メタルセンター）は、しなやかな長尺帯状のステンレス箔を絶縁被覆した発熱テープ（図1）と、専用の自動温度制御器から構成されます。テープ状の発熱体は、ニクロム線よりも株元との接触面積を大きくするとともに、株間部分の発熱量を抑える‘スポット加温’が行えます（図1）。専用ヒータで株元温度を15℃から20℃の範囲で加温することで、ハウス内気温の暖房設定温度を従来よりも下げても、イチゴの生育及び収量を維持できます。

ハウス内張被覆用に開発された多層被覆資材（商品名：サニーキルト、東洋殖産（株））は、断熱性に優れるとともに、従来の「布団資材」と呼ばれる資材と比べて薄く軽量で取扱い性に優れるものです（図2）。

これら省エネルギー暖房技術をイチゴ地床栽培で組み合わせた実証（株元温度を17℃以上維持、ハウス内気温を4℃以上維持）では、イチゴの生育及び収量を低下させずに、慣行栽培（ハウス内気温を8℃以上維持）に対して、暖房用燃油使用量9割削減と暖房コスト5割削減が可能となりました。



図1 発熱テープのスポット加温部（左）と株元での発熱状況（右）



図2 多層被覆資材の外観（左）と展張状態（右）

山口県農林総合技術センター  
TEL 083-932-0211  
鶴山浄真・日高輝雄

### 3(6) 蓄熱式栽培環境制御システムによる トマトの高生産・省エネ技術の開発

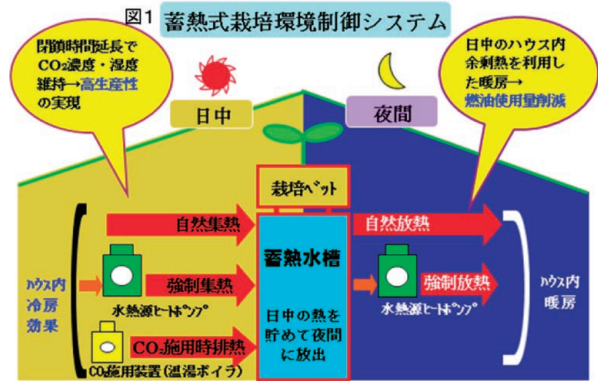
#### 1. 目的

太陽エネルギーを利用した蓄熱式栽培環境制御システムによる、燃油を大幅に削減した省エネルギー技術の構築と、このシステムによる生産性の高いトマトの栽培技術を確立します。

#### 2. 成果の概要

このシステムは、日中にハウス内の余剰熱をヒートポンプ（以下 HP）で栽培ベッド下の水槽に蓄熱することで、夜間の暖房コストの低減や半閉鎖環境での施設栽培を実現するものです（図1）。このシステムに暖房効率を高めるためサイドにサニーコート<sup>1)</sup>を展張し、棟上散水<sup>2)</sup>を実施しました。また、生産性を高めるため側枝利用と厳寒期の摘葉を行いました。

この結果、株当たりの可販果収量は蓄熱区が約40%増収となり、1果重は蓄熱区15g重く、L玉の発生率も高くなりました（表1）。暖房用燃油消費量は蓄熱区が慣行区より65%削減できました。また、燃油と電気代やガス代を合計した金額で比較しても、蓄熱区は慣行に対して約30%削減できました。可販果1kg当たりの光熱費は慣行の40%でした（表2）。



注1. ハウスの保温被覆資材（商品名）

注2. 夜間屋根に散水してハウスからの放熱を抑える暖房技術

表1 収量および品質（栽培期間2014年7月～2015年7月）

処理区	総収量		可販果収量					上位等級(%)		下位等級(%)		
	株当たり(kg)	10a換算(t)	可販果率(%)	株当たり(kg)	10a換算(t)	1果重(g)	L玉(%)	健全	空洞(軽)	空洞	だ円	乱形など
蓄熱	15.0	41.7	91	13.9	38.7	154	17	55	6	20	2	6
慣行	13.1	28.5	75	9.9	21.4	139	11	29	12	15	4	15

注1. L玉率は1果重が200g以上の果実の割合(%)。2. 品種は、蓄熱‘安濃交9号’、慣行‘麗容’。

3. 栽培様式は、蓄熱：密植(2,777本/10a) + 1月下旬に発生させた側枝(925本/10a)利用、慣行：2,173本/10a。

表2 燃油・電気使用量および燃料費

処理区	燃油・電気使用量			燃料費(千円/10a)				可販果1kg当たりの光熱費(円/kg)
	暖房用燃油消費量(ℓ/230.4㎡)	電気使用量(kwh/230.4㎡)	CO <sub>2</sub> 発生器燃料(ℓor㎡/230.4㎡)	A重油	電気	CO <sub>2</sub> 発生器燃料代	合計	
蓄熱	1,079(35)	3,171	301ℓ(灯油)	460	360	130	950(70)	25(40)
慣行	3,045(100)	0	102㎡(LPG)	1,300	0	50	1,350(100)	63(100)

注1. ()は、慣行を100とした場合の指数で表示した。2. 燃料費計は、10a当たりで算出した。

3. 蓄熱区は9.5℃以下で補助暖房使用

栃木県農業試験場  
TEL028-665-7142  
高野あけみ・菊地聡・木野本真沙江

### 3(7) 蓄熱式栽培環境制御システムによるイチゴの高生産・省エネ技術の開発

#### 1. 目的

太陽エネルギーを利用した蓄熱式栽培環境制御システムによる、燃油を大幅に削減した省エネルギー技術の構築と、このシステムによる生産性の高いイチゴの栽培技術を確立します。

#### 2. 成果の概要

このシステムは、日中にハウス内の換気される余剰熱をヒートポンプで栽培ベッド下の水槽に蓄熱するため、換気窓の開閉をほとんど行うことなく、日中の室温を一定に保つことができます(図1)。このような特徴を生かし、日中の室温を27℃とし、6時から16時までハウス内の炭酸ガス濃度を1,000ppmに維持した際の、増収効果について検討を行いました。



図1 蓄熱式栽培システム

その結果、可販果収量は慣行栽培区(6時から換気開始前までハウス内の炭酸ガス濃度を1,000ppmに維持、室温は午前27℃、午後23℃)に比べ、17%の増収となりました。1果重に差は認められませんでした。慣行栽培に比べ、1次腋花房、2次腋花房とも収穫始期が10~15日程度早まり、収穫果数が増加したことが増収要因であると考えられました(表1、2)。

光熱費を試算すると、温室内の冷暖房(夜温は両区とも8℃)に要した経費は、重油使用量の減少により大幅に削減されましたが、炭酸ガス施用に要したコストを加えると慣行栽培対比で90%となりました(表3)。

表1 蓄熱式栽培環境制御システムが生育、収量に及ぼす影響

処理区	頂花房着花数 (個/株)	収穫始期(月/日)			可販果収量(g/株)				収量比
		頂花房	1次腋	2次腋	前期	中期	後期	合計	
蓄熱式	24.6	11/7	1/10	2/18	298	674	369	1341	117
慣行	23.9	11/11	1/21	2/27	273	512	365	1150	100

注. 可販果は7g以上とした。前期(11~12月)、中期(1~3月)、後期(4~5月)とした。

表2 蓄熱式栽培環境制御システムが果実品質等に及ぼす影響

処理区	1果重 (g)	可販果数 (果/株)	乱形果率 (%)	糖度 (%)	酸度 (%)	硬度 (g/φ2mm)
蓄熱式	16.3	82.3	23.6	9.7	0.62	59
慣行	16.3	70.6	19.6	9.9	0.68	63

表3 光熱費試算(万円/10a)

処理区	ヒートポンプ			暖房機 (重油代)	CO <sub>2</sub> 施用	合計	対比 (%)	可販果1kg当たり	
	冷房時	暖房時	小計					光熱費(円/kg)	対比(%)
蓄熱式	8.7	4.0	12.7	9.6	41.7	64.0	90	68.2	77
慣行	—	—	—	63.5	7.9	71.4	100	88.7	100

注. 蓄熱区7℃以下で補助暖房を使用。ヒートポンプの電力は26円/kw、暖房機はA重油使用(@98円/L)、蓄熱式のCO<sub>2</sub>は灯油使用(@97円/L)、慣行のCO<sub>2</sub>はプロパンガス使用(@470円/m<sup>3</sup>)として試算。

栃木県農業試験場いちご研究所

TEL 0282-27-2715

大橋 隆・畠山昭嗣・飯村一成・中西達郎

## 【語句説明】

### 1(1)

採熱管：循環液で地中と熱交換させる管。

スリンキー：採熱管をループ状にしたもの。

トレンチ：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。

### 1(2)

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。

### 1(3)

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。

フリークーリング：採熱側循環液を直接放熱器に循環させる、圧縮機を使用しない冷房運転。

### 1(6)

熱交換効率：ヒートポンプによりどれだけ効率的に地中熱を使用できるかを示す指標。

熱伝導率：土壌の熱の伝わりやすさを示す指標。土壌の種類や土壌水分量によって値が異なる。

### 2(7)

ペルチェエ効果：異種金属で組み合わされる熱電対はゼーベック効果によって熱起電力が発生するが、逆に電流を流すとペルチエ効果によって熱電対接点が冷却され、接点上に結露が生ずること。

シンプラスト水：細胞内の水で、ほとんどが液胞中の水。

永久しおれ点：葉のしおれが回復できない土壌水分状態を永久しおれ点とし、実用的にpF4.2(-1.5MPa)が用いられている。

アポプラスト水：細胞外の水で、ほとんどが細胞壁中の水。

### 3(1)

WRF領域気象モデル：WRF(The Weather Research and Forecasting)モデルは、NCAR（アメリカ大気研究センター）などを中心に天気予報や気象、気候研究のために開発が進められている次世代メソスケール数値予報システムで、世界中で利用実績があります。



## おわりに

わが国の施設園芸において、化石燃料に大きく依存した暖房燃料費の増加は、生産者の経営を不安定にし、冬季の施設野菜価格の上昇の一因となっています。環境的にも地球温暖化防止のために化石燃料由来のCO<sub>2</sub>排出量を減少させることが重要です。

これまで、施設園芸の省エネの取り組みとして、作型の開発、ハウスの機密性の向上、二重被覆や空気膜ハウスなども含む被覆材の改良、暖房機器の性能向上、作物別の変温管理方法、ウォーターカーテンの利用、ヒートポンプの導入など様々な取り組みがなされ、これらの対策は一定の成果を上げ、生産現場に導入されつつあります。

施設園芸の省エネの基本的な考え方として重要なことは、生産物当たりの投入エネルギーをいかに減らすか、ということだと我々は思っています。求められているのは、収量・品質を維持したまま、暖房燃料費を減らせる技術です。それらは自然の熱源を使う恒久的な技術であることが望まれます。各地域には、まだ未利用の自然の熱源が存在します。それぞれの地域に合った熱源に着目して、最適な技術として確立することが必要です。

そこで、本プロジェクト「熱プロ」では、各地域の自然エネルギーを有効利用し、作物収量当たりの投入エネルギーを削減することを目的にして、地中熱の有効利用、局所温度管理、作物の生育診断、各地域実証的な課題に、参画者一丸となり取り組みました。それぞれの研究課題で成果を得たものを中心に、研究成果ダイジェストとして紹介しました。概要のみを紹介させていただいたため、もっと詳しい内容を知りたい方は、連絡先に記した研究者に是非問い合わせてください。作成しました論文などを紹介できると思います。

平成26年度からは、熱エネルギーの有効利用と排出されるCO<sub>2</sub>の利用の効率化を図るため、施設暖房における、農林バイオマスの有効利用技術の開発、CO<sub>2</sub>吸脱着剤利用によるCO<sub>2</sub>貯留・供給システムの開発、CO<sub>2</sub>ハイドレート利用技術の開発、効率的なCO<sub>2</sub>施用技術の開発に取り組んでいます。成果については平成28年度、公表予定ですのでご期待ください。

最後に、研究を推進するにあたり外部委員として日本政策金融公庫の吉岡宏テクニカルアドバイザー、東海大学の林真紀夫前教授、福井大学の福原輝幸教授、日本大学の五十部誠一郎教授の各先生方にご支援ご指導を賜りました。この場をお借りし、篤く御礼を申し上げます。

平成27年10月

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  
中野明正  
浜本浩  
国立大学法人 静岡大学  
鈴木克己





研究成果ダイジェスト

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)

---

2015年(平成27年)11月6日発行

編集・発行: 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

〒305-8666 茨城県つくば市観音台3-1-1

印刷所 〒300-1236 茨城県牛久市田宮町531-27 牛久印刷株式会社

---

本冊子から、転写・複製する場合には著作者および農研機構の許可を得てください。