

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	【生産現場強化のための研究開発】収益力向上のための研究開発のうち、水田作及び畑作における収益力向上のための技術開発のうち、水田複合経営の新作型の開発に向けた研究			担当開発官等名	研究統括官(生産技術)
				連携する行政部局	生産局穀物課
研究開発の段階	基礎	応用	開発	研究期間	H27～H27（1年間）
				総事業費（億円）	0.1億円

研究課題の概要

我が国の農業・農村は農業従事者の減少や高齢化、農業所得の減少などに直面するなど厳しい状況にある。このため、農業の競争力を強化し、産業として持続あるものにするとともに、農村を活性化するためには、農業・農村の所得を増大することが重要となっている。しかしながら、我が国の水田作経営はイネ単作やイネ・ムギ・ダイズの輪作体系が多い中、土地利用型作物の生産性は低迷し、収益力も低位に留まっている。このような状況で水田作経営における収益向上を実現するには、従来のイネ・ムギ・ダイズに依存した輪作体系から脱却し、より収益性の高い園芸作物を導入した、新たな高収益水田輪作体系を開発する必要がある。

本研究課題では、全国農業地域別に、収益向上に繋がる野菜品目選定及び導入に向けた技術課題の抽出、また、経営モデルによる収益向上試算を行う。これにより、収益性の高い園芸作物を導入した、新たな高収益水田輪作体系の開発に向けた研究課題の立案に資する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

- ①稲作経営の収益を向上させ得る、野菜等の新たな輪作物目を特定するとともに、当該品目の利用を組み入れた水田複合経営の仮想の営農モデルを策定する。
- ②策定した仮想の営農モデルを実現するために必要な技術開発課題を提示する。

2. 委託プロジェクト研究課題全体としてのアウトカム目標（H37年～）

	備考
<p>全国農業地域別に、収益向上に繋がる野菜品目の選定及び導入に向けた技術課題の抽出、また、経営モデルによる収益向上試算を行う。この結果を踏まえ、収益性の高い園芸作物を導入した、新たな高収益水田輪作体系の開発を推進し、地域の条件や戦略に応じた園芸作物の導入と水田の有効活用、それによる農村の所得向上を実現する。</p>	<p>園芸作において収益向上を図るには、個別経営を対象とした技術開発のみならず、産地としての販売戦略と整合性を図る必要がある。本研究課題においても対象地域における戦略について考慮しているが、技術開発の段階においても県公設試や現地生産者団体と密な協議が必要である。なお、開発の期待される輪作体系のローカライズと普及展開については、研究終了後は県公設試や現地生産者団体が主体となって行う。</p>

【項目別評価】

1. 研究成果の意義

ランク：A

①研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性

①農林水産業・食品産業、国民生活のニーズ等から見た重要性

我が国の水田作経営は稲単作やイネ・ムギ・ダイズの輪作体系が多い中、土地利用型作物の生産性は低迷し、収益力も低位に留まっている。このような状況で水田作経営における収益向上を実現するに

は、従来のイネ・ムギ・ダイズに依存した輪作体系から脱却し、より収益性の高い園芸作物の導入が必須であり、農林水産業からみた重要性は極めて高い。

②研究の科学的・技術的意義（独創性、革新性、先導性又は実用性）

水田作における園芸作物の導入においては、既存作物との競合を回避しつつ、かつ、収益性を確保しうる品目の選定が重要である。本研究課題では、線形計画法（※1）を用いた営農シミュレートにより、既存作物との競合を回避しうる品目の選定や、導入に必要な技術、また、それら新技術導入による所得向上効果を事前に評価するものである。対象とすべき品目、開発すべき技術、それらの導入効果が事前に示されることで研究開発目標も明確になり、その実用性は極めて高い。

また、本研究課題で収集・整備される各種データは、研究課題立案等、様々な場面で活用が期待でき、その意義は極めて高い。

2. 研究目標の達成度及び今後の達成可能性

ランク：A

①研究目標の達成度

1 市場動向から見た主要野菜の国内生産拡大の可能性と条件の解明

品目毎に国内市場成長率（市場が拡大しつつある品目ほど有望）と、市場における国産品割合（国産品割合が低いほど有望）から、タマネギ、ブロッコリー、エダマメ、ネギ、ホウレンソウ、アスパラガスについて、複合経営への有望な導入品目として選定した。地域別の仮想営農モデルの策定では、これらの分析と各地域における野菜作に関する戦略・位置づけを考慮し、モデルに導入する具体的品目を選定した。

2 寒地水田作における複合経営モデルの策定と技術開発課題

イネ・ムギ・ダイズ体系にタマネギ直播を導入した新作型について、一人当たり労働報酬額が基準モデル：752万円から新作型仮想モデル：1,045万円へ、39%の所得向上効果を試算した。この新作型モデル実現に向けては、直播タマネギの単収水準の確保（5t/10a以上）が必要で有り、これに向けたFOEAS（※2）等による干ばつ回避技術や適品種の選定が特に求められる。

3 寒冷地水田作における複合経営モデルの策定と技術開発課題

イネ・ダイズ体系にエダマメ及びネギを導入した新作型について、一人当たり労働報酬額が基準モデル：380万円から新作型仮想モデル：559万円へ、47%の所得向上効果を試算した。この新作型モデルではエダマメの長期出荷（100日間）を目指した早生・中性・中晩生・晩生を組み合わせた連続収穫・出荷体系を組み込んでおり、この実現に向けては品質と収量を維持できる適品種の選定が特に求められる。

また、イネ・ムギ・ダイズ体系にタマネギを導入した新作型について、一人当たり労働報酬額が基準モデル：113万円から新作型仮想モデル：401万円へ、255%の所得向上効果を試算した。この新作型モデルの実現には、従来の前年秋定植したものを圃場で冬越しさせる秋播きタマネギに加え、春播きタマネギの栽培技術の確立が特に求められる。

4 温暖地水田作における複合経営モデルの策定と技術開発課題

イネ・ムギ・ダイズ体系にネギを導入した新作型について、一人当たり労働報酬額が基準モデル：552万円から新作型仮想モデル：769万円へ、40%の所得向上効果を試算した。この新作型モデルの実現には、秋冬収穫及び春収穫ネギの収量を向上しうる地床育苗・大苗技術（※3）やFOEAS利用技術、また、夏収穫ネギの早期収穫を可能にするセル大苗技術の確立が特に求められる。

また、イネ・ムギ・ダイズ体系にブロッコリーを導入した新作型について、一人当たり労働報酬額が基準モデル：552万円から新作型仮想モデル：773万円へ、40%の所得向上効果を試算した。この新作型モデルの実現には水田におけるブロッコリー栽培技術、特にFOEAS等を利用した収量及び品質の安定化が求められる。

5 中山間地域水田作における複合経営モデルの策定と技術開発課題

イネ・ムギ・ダイズ体系にアスパラガスを導入した新作型について、一人当たり労働報酬額が基準モデル：351万円から新作型仮想モデル：578万円へ、65%の所得向上効果を試算した。この新作型モデル

の実現に向けては、拍動灌水（※4）を利用したアスパラガスの栽培技術の確立と、ダイズ晩播適品種の選定と除草体系の確立が特に求められる。

また、イネ・ムギ・ダイズ体系にハウレンソウを導入した新作型について、一人当たり労働報酬額が基準モデル：351万円から新作型仮想モデル：579万円へ、65%の所得向上効果を試算した。この新作型モデルの実現に向けては、ハウレンソウ栽培における農薬使用量削減を可能にする生物的土壌消毒技術（※5）や、アスパラガス同様、ダイズ晩播適品種の選定と除草体系の確立が特に求められる。

6 暖地水田作における複合経営モデルの策定と技術開発課題

イネ・ムギ・ダイズ体系にエダマメ及びタマネギを導入した新作型について、一人当たり労働報酬額が基準モデル：520万円から新作型仮想モデル：700万円へ、35%の所得向上効果を試算した。この新作型モデルの実現に向けては、エダマメでは暖地水田向け早生のエダマメ専用品種の開発、夏季における省力・低コスト防除技術の確立、タマネギではマルチ等を活用した促成栽培技術（12月上中旬移植～5月末収穫）の確立が特に求められる。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム目標）とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の明確性

ランク：A

①アウトカム目標達成の可能性

本研究課題にて、北海道、東北、関東、中国（中山間）、九州の地域別に、収益向上に繋がる野菜品目選定及び導入に向けた技術課題の抽出、また、経営モデルによる収益向上試算を行っているところであり、これらの結果を踏まえ、既に27年度補正予算への応募作業も開始している。FSに基づく研究推進体制となっており、アウトカム目標の達成可能性は高い。

②研究成果の活用方法の明確性

野菜等を含む複合経営実現に向けた要素技術の開発に適切に活用されることが期待できる。

③他の研究への波及可能性（該当しない場合は評価から除外）

野菜等を含む複合経営実現に向けた要素技術の開発に適切に活用されることが期待できる。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

①研究計画の妥当性（的確な見直しが行われてきたか等）

単年度事業という、実質数ヶ月の研究期間で所定の成果を挙げており、このことから研究計画は妥当である。

②研究推進体制の妥当性

キックオフミーティング、中間検討会、現地検討会、成績検討会と、数ヶ月の間に集中的に議論を行っており、取りまとめに至っている。研究推進体制は妥当である。

③投入された研究資源（予算）の規模及び配分の妥当性

単年度かつ、0.1億という枠組みの中で所定の成果を挙げており、研究資源（予算）の規模及び配分は妥当である。

【総括評価】 ※総括評価の欄は、評価専門委員会において記載（事務局による評価段階では空欄）

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

本研究はFS研究であり、水田複合経営の新作型開発に向けた目標については概ね達成されており、単年度に成果が得られていることを評価する。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

今回、開発したシミュレーションモデルの制約条件や予測の限界を関係者間で十分に共有化し、その上で、技術開発課題を設定し推進することを期待する。

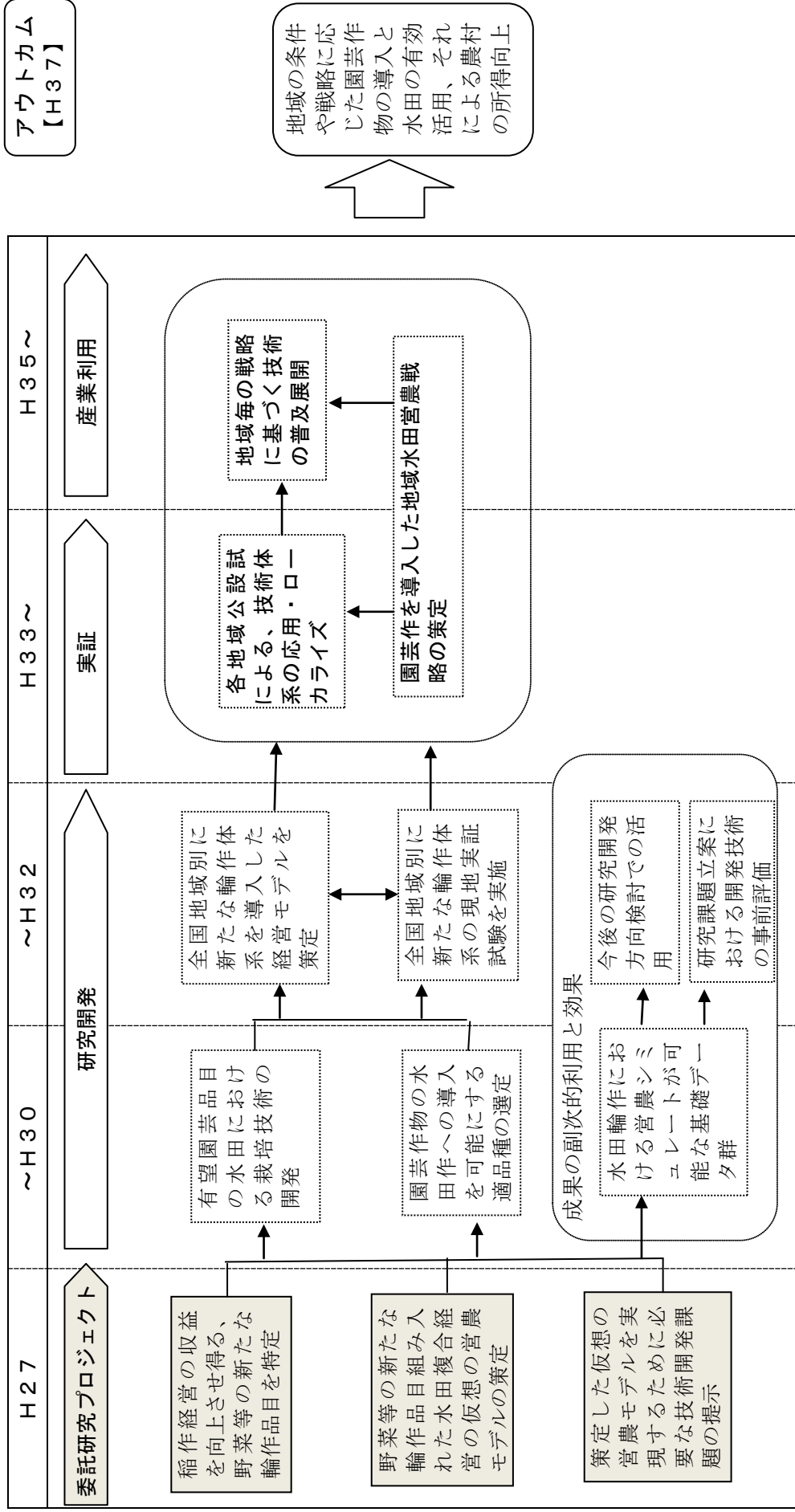
今後、地域につなげていく際は、県段階で実施するなど現場にどう導入していくか、道筋を意識しながら推進されたい。

[研究課題名] 水田複合経営の新作型の開発に向けた研究

用語	用語の意味	※ 番号
線形計画法	<p>経済問題などの最適化の方法として利用されているが、その考え方は、次に例示するように、線形の制約条件のもとで、同じく線形の目的関数を最大化または最小化する解（最適解）を求める方法である。</p> <p>目的関数：$Z=120*X1+90*X2+110*X3$→最大化 制約条件：$X1+X2+X3 \leq 10$ $45*X1+15*X2+25*X3 \leq 360$ $20*X1+40*X2+30*X3 \leq 360$</p> <p>農業経営問題に線形計画法を適用するには、経営条件、生産技術、価格条件などの制約条件を線形で表現し、経営目標（例えば農業所得）を目的関数として線形で表現する。</p>	1
FOEAS	<p>地下水位制御システム (FOEAS: Farm-Oriented Enhanced Aquatic System): 給水(水位管理者)と排水(水位制御器)の調節機能を有した水位制御システムで、雨が降れば暗渠から排水し、晴天で乾燥が続けば地下から灌漑を行い、栽培作物に応じた最適な水位(地下-30cm~+20cm)を維持することで、湿害や干ばつ害を軽減し、農作物の収量及び品質の向上に寄与する技術</p>	2
地床育苗・大苗技術	<p>育苗箱やポット、セルトレイを用いず、露地畑に播種し育苗し、かつ、大苗化した苗を利用する技術。</p>	3
拍動灌水	<p>水位が一定に達すると排水弁が開き高流速で点滴チューブへ配水できる構造を持つ拍動タンクに、ソーラーポンプで小流量の水を揚水することにより、水源に乏しい地域でも、日射量に応じた少量多頻度灌水が低コストで可能となる技術。</p>	4
生物的土壌消毒	<p>土壌消毒剤等を用いず、カラシナのすき込み等で土壌の消毒を行う技術。</p>	5

【ロードマップ（終了時評価段階）】

水田複合経営の新作型の開発に向けた研究



論文数等共通事項調査票

(平成28年2月24日調査時点)

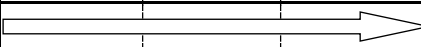
事業名						
実施期間	平成27～27年度			評価段階	終了時	
予算額 (百万円)	初年度 (27年度)	2年度目 (●年度)	3年度目 (●年度)	4年度目 (●年度)	5年度目 (●年度)	総合計
	80					80

項目	① 査読 論文	②国内 特許権等 出願	③海外 特許権等 出願	④国内 品種登録 出願	⑤ プレス リリース	⑥ アウトリーチ 活動
実績件数	0	0	0	0	0	0

具体的な実績(件数の多いものについては、代表的なもの(10件程度)を記載。)
①査読論文
無し
②③④(国内外)特許権等出願・品種登録
無し
⑤プレスリリース
無し
⑥アウトリーチ活動(研究活動の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明する等の双方向コミュニケーション活動)
無し
その他(行政施策等に貢献した事例)
無し

今後予定しているアウトリーチ活動等
無し

委託プロジェクト研究課題評価個票（終了時評価）

研究課題名	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 （現：【技術でつなぐバリューチェーン構築のための研究開発】地域資源を活用した再生可能エネルギー等の利活用技術の開発のうち、「施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー利用技術の開発」）			担当開発官等名	研究開発官(基礎・基盤、環境)
				連携する行政部局	生産局園芸作物課(施設園芸対策班) 生産局農業環境対策課(資源循環推進班)
研究開発の段階	基礎	応用	開発	研究期間	H25～H28（4年間）
					

研究課題の概要

<委託プロジェクト研究課題全体>

農山漁村において、現在、多くが未利用となっている中・低温の熱エネルギー（※1）を施設園芸で効率的に利用する技術を開発することにより、エネルギー自給型の農業を確立するため、園芸施設内の効率的な温度制御技術や地中熱等の熱源を効率的に確保・利用する技術に加え、効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及びその利用技術の開発を行う。

<課題①：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（平成25～27年度）>

・寒冷地や温暖地等、その地域の気候特性に応じた園芸施設内の熱エネルギー利用の効率化を図るための最適な温度制御技術を開発する。また、地域に応じた、太陽熱、地中熱等各熱源を組み合わせることにより、さらなるエネルギー利用の効率化を図るため、農地の浅層地中熱（※2）等の利用技術を開発する。

<課題②：施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発（平成26～28年度）>

・施設園芸に用いられる木質バイオマス等を燃料とする加温機から発生するCO₂を有効利用し、作物の収量を増加させるための低コストなCO₂貯留・供給装置及び効果的なCO₂施用技術（※3）を開発する。

1. 委託プロジェクト研究課題の主な目標

① 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

園芸施設内の熱エネルギー利用の効率化を図るための最適な温度制御技術及び中・低温の熱エネルギーを利用する技術を開発する。なお、開発する技術は、導入コストを抑え、燃油使用量を半減させることで、経営収支を向上させる技術とする。

② 施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発

施設園芸に用いられる木質バイオマス等を燃料とする加温機から発生するCO₂を有効利用する貯留・供給装置及びその発生したCO₂を利用することで、作物の収量を10%以上増加させる施用技術を開発し、経営収支向上に資する。

2. 委託プロジェクト研究課題全体としてのアウトカム目標（H32年）	
	備考
農山漁村で豊富に得られる再生可能エネルギー（※4）等の地域資源を活用した自立・分散型エネルギー供給体制の確立に資するため、地域で自給できるエネルギーを活用した施設園芸システムを確立する。	

【項目別評価】	
1. 研究成果の意義	ランク：A
<p>① 研究成果の科学的・技術的な意義、社会・経済等に及ぼす効果の面での重要性</p> <p>・農村地域において豊富に得られる太陽熱、地中熱や木質バイオマス等再生可能エネルギーの利用技術を組合せ、施設園芸における効率的な利用体系を技術的に確立することは、</p> <ul style="list-style-type: none"> ◇近年高騰した化石エネルギーからの脱却を図り、経営コスト低減に資すること ◇地域に賦存する未利用エネルギーを作物の加温に効率的に利用することから、環境に排出するCO₂の大幅な削減につながる ◇地域に賦存する再生可能エネルギーを利用することから、技術導入の際に発生する役務、バイオマス資源供給等に必要の雇用を生み出す等地域活性化につながる ◇自立・分散型エネルギー供給体制の確立に寄与し、域外から導入するエネルギーコストの低減につながる <p>等、研究成果の重要性は極めて大きい。</p>	
2. 研究目標の達成度及び今後の達成可能性	ランク：A
<p>① 研究目標の達成度</p> <p>1 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（平成25～27年度）</p> <p>「導入コストを抑え、燃油使用量を半減させる最適な温度制御技術及び中低温の熱エネルギー利用技術の開発」に向けて、以下の開発に取り組んだ。</p> <p>温度制御については、トマト、ガーベラ、イチゴ、ナスについて、導入コストを抑えた局所加温技術を開発し、茎加温用の簡易な装置を開発した（特許取得）。これらはいずれもハウス全体を加温するのに比較し、品質、収量を保ちつつ、燃油使用量が半減するなど大幅なエネルギー使用量削減となった。さらに、エネルギーの効率的利用の観点から、作物の生育状況をリアルタイムで把握し、省エネにつなげるための生育診断技術を開発し、特許を2件取得している。</p> <p>中低温の熱エネルギー利用技術の開発については、寒冷地及び温暖地において施設園芸用地中熱ヒートポンプ（※5）システムを開発した。導入技術の低コスト化の面では、従来の地中熱利用方法であるボアホール型（※6）に比べ、開発した浅層地中熱利用技術は、初期コストを4割低減できた。また、ハウスで一般的に使われている燃油加温機に比較し、ランニングコストを半減した。</p> <p>上記技術や他産業で利用されている再生可能エネルギー利用技術等を組合せ、熱エネルギーの有効利用方法の実証を行った。例えば、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を導入したハウスでは、単収を確保しつつ、燃油使用量を0に、暖房コストを8割削減した。</p> <p>以上のことから、当課題は、「技術の導入コストを抑え、燃油使用量を半減」という目標を達成している。</p>	

なお、具体的に開発した技術内容は以下の通りである。

(1) 効率的加温による増収技術の開発

トマトで果実と根の2カ所同時に温めるデュアル加温法を実証し、初期収量2割増の効果を確認した。ガーベラの生長点近傍を20℃程度に局所加温し、慣行栽培より室温を5℃下げても同等の収量が得られることを明らかにした。この場合、燃油使用量は3割削減できた。ナスの実用的な茎加温技術を開発し、燃油使用量半減を確認した。イチゴで収量低下なしに燃油使用量を6割削減できる地下水を利用した局所温度制御技術を開発した。局所加温の装置は、自己施工等により比較的安価に導入でき、試算ではエネルギーコストの削減により3年程度でコストが回収できる結果となった。

加温と生育の関係を明らかにし、効果的な加温技術開発につなげるため、作物の生育状況（群落構造、栄養状況、水分ストレス）を非破壊で連続的に評価することが可能な計測システムを開発した。

当初の目的は全て達成し、現在開発された製品の市販化・技術普及に向けて準備中である。

(2) 施設園芸における地中熱の効率的提供方法の開発

農業分野では広い農地を利用可能という特性を活かし、寒冷地と温暖地に浅層地中熱ヒートポンプシステムを設置し、施工コストや発揮性能を明らかにした。導入コスト低減に向け、農家が自分で施工できるような掘削方法を実証し、導入コストを既存技術に比べ4割削減した。さらに、このシステムを利用した局所加温・冷却や炭酸ガス施用による省エネ栽培法の効果を明らかにし、ランニングコスト半減を実証した。ヒートポンプを冷房にも使用し、収穫期間を延長・移動できること、CO₂施用時間を長くできること等により、収量増、高品質化、高価格化につながることから、導入の償却期間を試算すると7～9年程度となった。

また、浅層地中熱のポテンシャルマップ（茨城版）を作成した。これらの成果は、技術普及に資するよう「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」という冊子にまとめ、配布した。以上のように当初目的は全て達成した。

(3) 各地域における熱エネルギーの有効利用方法の実証

栃木、山口等に設置した各地域実証モデルハウスでは、それぞれ局所暖房、被覆資材、太陽熱、ヒートポンプ等の利用技術を組合せ、慣行栽培以上の収量性を確保しつつ、目標を大幅に上回る燃油使用量、暖房コストの削減を達成した。これらの熱利用技術と地域に適した各種栽培技術を併せることにより、収量増、高品質化、高価格化が可能になることから、導入の償却期間を試算すると最短4年程度となった。また、各地域実証モデルの熱収支を算定し、個別技術の熱的効果を明らかにした。これらの技術を早期に普及に移すため、準備中である。

2 施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発(平成26～28年度)

「木質バイオマス等を燃料とする加温機から発生するCO₂の貯留・供給装置の開発及び作物の収量を10%以上増加させる施用技術を開発する」という目標に向けて、以下の開発に取り組んだ。

施設園芸では光合成を促進させる増収技術としてCO₂施用が行われている。通常は日中、ハウス内で化石燃料を燃焼させる等により行われているが、当課題では、地域エネルギー利用の面から推進しているバイオマス加温機（※7）利用において、夜間加温機から排出されているCO₂を貯留し、日中施用させるため、2種類のCO₂回収貯留施用技術開発に取り組んでいる。

1つは、活性炭にCO₂を吸着させる方法で、1年目に試作品を完成させ、実証ハウス内で動作確認を行い、2年目に燃油加温機で使える装置が完成した。もう一つはバイオマス加温機から発生するCO₂をハイドレート（※8）技術により貯留し、利用する方法で、現在、CO₂分離方式の開発、装置の試作、動作確認を実施している。

また、CO₂を効果的に有効に活用するための作物への施用技術も併せて開発している。

具体的には以下のとおりである。

(1) CO₂吸脱着剤利用によるCO₂貯留・供給システムの開発

CO₂貯留・供給装置の基本設計を完成させ、まず排ガスの成分と挙動が安定している燃油加温機の排ガスに対応した試作機6台を製造し、現地実証に供した。試作機を用いた栽培試験においては、人やミツバチ、作物に悪影響を及ぼすことなく、CO₂を施用できることを確認した。よりコンパクトで劣化の少ないCO₂吸脱着剤の探索では、高性能な活性炭を市販品に見出し、水蒸気の吸脱着の繰り返しがCO₂吸着量に影響を及ぼさないことを明らかにした。

(2) 施設園芸におけるCO₂ハイドレート利用技術の開発

通常のCO₂ハイドレートは高压低温条件下で生成される。これを農業分野でより扱い易くするために、常温常圧に近い条件でCO₂ハイドレートを生成できる添加剤を含むセミクラスハイドレート (※9) による生成条件を検討した。また、通常のCO₂ハイドレートについて、ラボレベルのCO₂ハイドレートを施用する栽培システムを構築し、栽培試験を実施した。さらに、最終年度の実証ハウスでの設備構築のため、2種類のハイドレートにおけるCO₂回収貯留施用システム「排ガスを冷却→排ガス中のCO₂を濃縮→ハイドレート化→貯留→ハイドレートからCO₂を放出→作物にCO₂を施用」の全体設計を行い、実証ハウスに最初の工程の加温機から排出する排ガスを冷却する装置を設置し、システム評価のためのイチゴ栽培を実施した。

(3) 施設園芸における効率的なCO₂施用技術の開発

施用したCO₂を無駄なく作物が光合成に利用し、収穫量増に結びつける技術を開発するため、ハウス内で施用したCO₂がどのように分散しているのかを測定する手法を開発し、ハウス内のCO₂分布を明らかにした。また、CO₂施用効果を高めるための最適な葉と果実のバランスを探るため、利用するトマトの葉の量と果実量の多少を組合せて栽培試験するとともに、培養液の成分を調査し、適切な肥料設計に向け知見を得た。

CO₂施用効果を高めるためには、果実数をなるべく増やすとともに肥培管理や、作物の葉の付け方等を考慮する必要があること、また、トマト栽培において自然換気および室内空気を攪拌している時のCO₂濃度を明らかにした。

② 研究目標の今後の達成可能性

課題①については、平成27年度で終了し、目標はすべて達成している。

課題②については、あと1年の事業期間であるが、吸脱着剤を利用したCO₂貯留供給装置は燃油加温機対応では開発済みで、市販も視野に入れているところである。燃油加温機と異なる燃焼形態をとるバイオマス加温機においては、燃油加温機よりもCO₂以外の排ガスの成分が安定しにくいいため、これへの対応方法を検討しており、燃焼の制御による排ガス成分の安定化を図ることにより、装置の完成は確実である。CO₂ハイドレート利用装置は、システムを構成する各装置の仕様はほぼ完成しており、次年度、園芸施設内に設置し、試験運転する予定で、試作システムが完成することは確実である。また、施設園芸におけるCO₂有効利用技術の開発については、養水分吸収効率からみたCO₂施用効果の最適化、見えないCO₂の挙動を明らかにし、半開放温室 (※10) において光合成を高められるCO₂局所施用方法の確立に向け、研究が進んでいる。

以上により、目標の「施設園芸に用いられる木質バイオマスを燃料とする加温機から発生するCO₂を有効利用する貯留・供給装置及びその発生したCO₂を利用することで、作物の収量を10%以上増加させる施用技術を開発し、経営収支向上に資する。」はすべて達成する見込みである。

具体的には以下のとおりである。

(1) CO₂吸脱着剤利用によるCO₂貯留・供給システムの開発

CO₂吸脱着剤利用によるCO₂貯留・供給システムは、計画を1年前倒しして完成しており、従来の燃油加温機利用において市販化可能な段階にあり、当初計画を上回る成果を得ている。プロジェクト全体の目標であるバイオマス加温機への応用については、実証のため導入した市販のバイオマス加温機において、不完全燃焼による排ガスのCO濃度が安定しない等の問題があるが、バイオマス投入量の調整による燃焼の制御等により排ガス成分の安定が見込まれ、安定すれば速やかに栽培実証により、装置の有効性の確認ができる状態にあることから、装置の完成は見通せている。

(2) 施設園芸におけるCO₂ハイドレート利用技術の開発

平成28年度は、これまでに取り組んできた2種類のハイドレート手法（セミクラスハイドレートによる農業向けCO₂ハイドレート利用・通常のCO₂ハイドレート利用）による施設園芸向けシステムを実証ハウスに構築し、これらを稼働させ、評価試験等を実施する予定としている。

以上により、施設園芸におけるCO₂ハイドレート利用技術の基礎的なシステムは完成することから当初目標は達成できる。

(3) 施設園芸における効率的なCO₂施用技術の開発

平成28年度は、これまでの成果を活用し、CO₂施用時に収量が増加する最適肥料組成、最適な葉と果実のバランス、CO₂の濃度ムラの発生しにくいCO₂施用方法を決定し、CO₂の施用と吸収の両面から最も効率的なCO₂局所施用技術を確立し、マニュアル化する。また、半開放温室において、光合成で吸収されずにハウスから流出するCO₂量を把握し、適切なCO₂の供給場所を明らかにするとともに、変動する温室内の作物全体の光合成速度を計測・算定し、作物が吸収した分だけCO₂を供給する無駄のないCO₂施用方法を確立し、マニュアル化する。

普及している灯油燃焼式CO₂施用機による増収技術は、10%程度の収量増加が見込まれる。これは、日が昇り始めてから気温が上がりハウスの窓を開放するまでの間、ハウス内で灯油を燃焼させることによりCO₂施用を行うため室内温度が高まりやすく、CO₂施用時間が短くなる欠点がある。

当プロジェクトで開発した2種類のCO₂貯留・供給装置は常温でCO₂を供給できることから、窓を開放するまでの時間が長くなるため、既存技術に比べ長時間CO₂施用を行うことができる。さらに、窓が開放されている際の効率的なCO₂施用技術及びCO₂を取り入れて効率良く果実に蓄積させる栽培技術を確立することから、収量を10%以上増加させる効率的なCO₂施用技術の開発という目標の達成は確実である。

3. 研究が社会・経済等に及ぼす効果（アウトカム目標）とその実現に向けた研究成果の普及・実用化の道筋（ロードマップ）の明確性

ランク：A

① アウトカム目標達成の可能性

・本研究では、園芸施設内の効率的な温度制御技術や地中熱等の熱源を効率的に確保・利用する技術に加え、効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及びその利用技術の開発を行うことにより、作物生産に要する燃油使用量を半減させ、加温機から排出されるCO₂を有効かつ効率的に利用することで、収量の増加により経営収支を向上させ、地域で自給できるエネルギーを活用した施設園芸システムの確立をアウトカム目標としている。

・この目標を実現するため、本事業では、北海道から九州までの研究機関、企業を含むコンソーシアムにより、気象・地質等の環境条件の異なる地域での技術開発・実証、企業による技術開発・製品開発を

実施している。これら開発した技術は、生産現場に即導入可能なものから、さらなる改良・実証、低コスト化が必要なものまで様々であることから、各技術の成熟度に合わせ、事業終了後もコンソーシアム参加者が行政部局等と連携し、生産現場への普及に向け対応していくこととしている。

・本プロジェクトの成果の普及による効果は次のように整理される。

農家には、技術導入による燃油使用量の半減、収量の増加、品質の向上による経営収支の向上がもたらされ、燃油価格の影響を受けにくい農業経営の確立が見込まれる。

社会経済的には、加温設備のある園芸施設約20,000haで利用されているA重油、灯油等のエネルギー約80PJが半減し、排出されるCO₂も半減する。また、域外から購入するエネルギーコストを低減させ、太陽熱やバイオマス等地域内のエネルギー利用を促進することから、地域経済活性化、自律・分散型エネルギー供給体制の確立に資する。これらを経済的な観点から評価すると、1,000億円/年以上の効果が見込まれる。

(エネルギー経費の削減効果 A重油及び灯油約80PJ半減相当 70円/㎥として約600億円)

施設園芸作物収量向上効果 果菜類及び花き粗生産額1.3兆円のうち半分を施設園芸と想定。10%収量増で約650億円)

・成長産業・輸出産業と位置づけられている施設園芸は、本プロジェクトが目標とする「地域で自給できるエネルギーを活用した施設園芸システムの確立」のほか、環境制御、自動作業、病虫害対策等の総合的な技術が必要となることから、関連プロジェクトとの連携を積極的に構築していく。

② 研究成果の活用方法の明確性

研究成果の活用については、事業化を行う民間企業がコンソーシアムに参加している他、成果をより多くの方に知って頂くため、農業者向けの成果発表会、他の研究コンソーシアムや学会等と合同の成果発表会、展示会でのPR活動、成果のホームページへの掲載等を実施した。次年度も同様の取組を実施する予定。

<主な成果発表会>

・栃木成果発表会（平成27年11月10日）栃木県総合文化センター

・アグリビジネス創出フェア2015（平成27年11月18～20日）

熱プロブース出展及びセミナーによる成果紹介

・生産現場に革新を起こす施設栽培の最先端技術（平成27年11月30日）豊橋サイエンスコア

（革新的技術緊急展開事業「半閉鎖型管理(SCM)による施設果菜・花き類の生産性向上技術の実証園芸」、SIP「統合オミクス情報を利用したトマトの体系的最適栽培管理技術の開発」と合同開催）

・平成27年度日本農業気象学会中国・四国支部大会(平成27年12月3日) 近畿中国四国農業研究センター
「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」に関する成果の口頭発表

※この他、地域の農業者等を対象にしたセミナー等を数多く開催している。

<成果集>成果発表会、展示会等で配布

・「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

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

・農林水産省委託プロジェクト「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)
(2013-2015年度) 研究成果ダイジェスト

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

<ホームページへの掲載>

- ・上記、研究成果ダイジェストは、農林水産技術会議事務局ホームページに掲載

ホーム>研究成果の注目株>委託プロジェクト研究の成果>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「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」

<http://www.s.affrc.go.jp/docs/project/seika/index.htm>

③ 他の研究への波及可能性（該当しない場合は評価から除外）

—

上記①、②から、研究成果の普及・実用化の道筋の明確性は高い。

4. 研究推進方法の妥当性

ランク：A

① 研究計画の妥当性（的確な見直しが行われてきたか等）

研究開始前に実施した事前評価での指摘等を踏まえ、研究計画及び課題設定を再検討し、課題を設定した後、公募方式により、当該研究分野に多くの知見と経験等を有する機関を対象とした企画競争（①の課題は4グループの応募、②の課題は2グループの応募）を経て、最も適切な研究グループを採択した。

採択後は、学識経験者や産業界に精通した専門家を含む外部有識者4名及び関係する行政部局で構成する「委託プロジェクト研究運営委員会」を3年間で6回開催するとともに、現地検討会を5回開催し、研究の進捗状況や内容を詳細に検討し、これらを踏まえ適切な進行管理を行った。具体的な見直し等の概要は以下のとおりである。

中課題「各地域における熱エネルギーの有効利用方法の実証」のうち宮崎県で実施していた「西南暖地における太陽熱を有効利用した施設園芸用省エネ栽培システムの開発」については、推進会議、運営委員会、現地検討会を経て、研究に利用している既存の装置を現場に普及させるには大幅な改良が必要であり、委託プロ期間中に実施するのは困難とみなされたことから、課題内容を「暖地における局所加温を利用したピーマン省エネ栽培技術の開発」に見直した。

この他、各会議等において、外部専門家等により指摘のあった事項については、随時、研究手法、研究結果の取りまとめ方向等の見直しを行い、また、予算配分も見直す等により、研究期間内により成果が出るよう取り組んだ。

② 研究推進体制の妥当性

研究推進体制は、施設園芸や熱利用工学等の専門技術に精通した外部有識者4名及び関係する行政部局で構成する「委託プロジェクト研究運営委員会」を設置し、これまで6回（年間2～3回程度）開催し、また、必要に応じて現地検討会により研究の進捗状況や内容を詳細に検討し、これらを踏まえ適切な進行管理を行った。具体的な実施内容及び予定は以下のとおりであり、最終年度に向け、より効率的な研究が行われるよう検討することとしている。

- ・運営委員会、現地検討会等の開催状況（< >内は主な検討内容）

H25. 5	運営委員会	
12	北海道	<施設園芸における地中熱の効率的提供方法の開発（寒冷地）>
12	運営委員会	
H26. 2	運営委員会	
4	宮崎県	<1年目の取組内容から修正が必要な課題の検討>
6	運営委員会	
7	東京都、茨城県	<施設園芸における地中熱の効率的提供方法の開発（温暖地）>
H27. 2	奈良県	<CO ₂ 吸脱着剤利用によるCO ₂ 貯留・システムの開発>
3	運営委員会	
5	運営委員会	
H27. 11	栃木県	成果発表会及び現地検討会
	東京ビックサイト	成果発表セミナー、展示
	愛知県	成果発表会
12	香川県	成果発表会
H28. 3	運営委員会	
H28. 4~H29. 3 運営委員会2~3回、現地検討会1回以上、成果発表会1回以上を予定		

③ 投入された研究資源（予算）の規模及び配分の妥当性

①の課題については、平成25~27年度計2億6千万円、②の課題については平成26~28年度計1億5千万円の予算で実施しており、研究計画や進捗状況を考慮しながら、各課題に配分している。

当プロジェクトは、農業におけるCO₂ハイドレート利用といった基礎的なものから、地域における熱利用技術の実証まで、38の実行課題が行われており、例えば、実証に近い研究では、新技術を導入した環境を整備するため、初年度の配分を多くする、装置を開発する研究では、研究が進み、試作機が実証機にスケールアップする時点で配分を多くする、また、研究内容の見直しをした研究では、大幅に減額、あるいは増額する等により、研究が短期間で成果が出るよう上記進行管理とともに配分額でも対応している。

当初は4年間で4億8千万円の計画でプロジェクトを開始した。終了時評価時点で、総額4億1,500万円になる見込みである。この中で目標のすべてを達成できる見込みの上、目標以上の成果も得られていることから費用面で計画以上に効率的に研究を推進している。

以上のことから、①~③のいずれの項目についても明確であり、かつ費用面で計画以上に効率的に研究を推進しており、研究推進方法の妥当性は非常に高い。

【総括評価】

ランク：A

1. 委託プロジェクト研究課題全体の実績に関する所見

施設園芸における熱エネルギーの効率的利用技術について多くの成果が得られ、実用化あるいは実用化に近い成果も得られていることを評価する。

2. 今後検討を要する事項に関する所見

研究成果の実用化に向け、今後も現場の声を活用した活動の取組に期待する。

また、得られた成果の知財戦略について検討されたい。

[研究課題名] 施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー利用技術の開発

用語	用語の意味	※ 番号
熱エネルギー	原子・分子が熱運動することによって現れるエネルギーのこと。また燃料を燃やしたときに生じる熱が持つエネルギーのことも指す。	1
浅層地中熱	浅い地盤中に存在する低温の熱エネルギーのこと。大気温度に対して、地中の温度は年間を通して温度の変化が小さい。そのため、夏場は外気温度よりも地中温度が低く、冬場は外気温度よりも地中温度が高い。	2
CO ₂ 施用技術	収量を増加させるために、ハウス内のCO ₂ 濃度を人為的に高めて光合成速度を向上させる技術	3
再生可能エネルギー	太陽光や風力などの自然の力を利用するエネルギーのこと。資源の枯渇を招かず、半永久的に使うことができる。石油や天然ガスなどと異なり、CO ₂ をほとんど排出しない。	4
ヒートポンプ	低温熱源から高温熱源を生み出す装置。エアコンもその一つ。消費電力量（投入電気エネルギー）の3～6倍の熱量が暖房に利用できる。また、暖房だけでなく夏期の冷房や除湿にも活用できる。	5
ボアホール型	地中から採熱する方法の一つ。直径120～150mm程度、長さ数十～百数十m程度の掘削孔（ボアホール）に垂直に採熱管を挿入して熱交換器とする方式。	6
バイオマス加温機	木質チップやペレット等のバイオマスを燃料とする暖房装置。	7
ハイドレート	水とガスからなる水和物。水分子がカゴ構造となっており、その中に閉じ込められるガス分子がメタンであればメタンハイドレート、CO ₂ ならCO ₂ ハイドレート。低温高圧条件で生成し、雪のような結晶になる。	8
セミクラスハイドレート	ハイドレートの生成条件を、生成促進の役割を果たす添加剤を用いることにより、低温高圧から常温常圧付近まで緩和させたハイドレートのこと。生成圧力が低くなるため、CO ₂ 貯蔵量はハイドレートに比べると少なくなる。当研究では、生成条件とCO ₂ 貯蔵量のバランスが最適となる条件を試験している。	9
半開放温室	ここでは、自然光温室において、日中高温時に換気窓が一定量開放されている状態を指す。気化冷却で温室内の気温を下げつつ、作物群落内のCO ₂ を外気レベルまで高めることを想定。	10

4. 地域資源を活用した再生可能エネルギー等の利活用技術の開発

背景

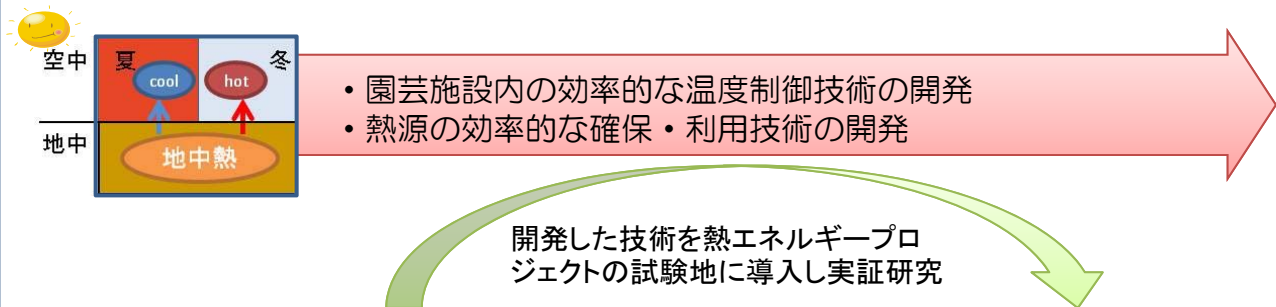
わが国農業は、化石燃料に大きく依存しているため、卓越した先端的環境エネルギー技術により、エネルギー需給の効率化と燃料転換を図ることが重要。

そのためには、施設園芸において、再生可能エネルギー等を効率的に利用する技術を開発することにより、エネルギー自給型の農業を確立することが必要。

研究内容

○ 施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー利用技術の開発

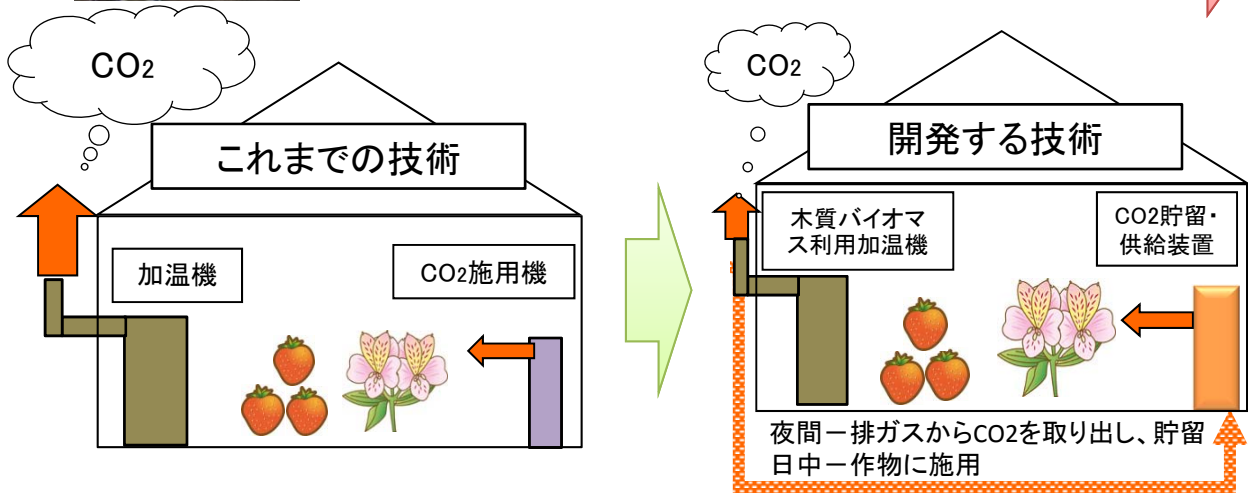
■ 施設園芸における熱エネルギーの効率的利用技術の開発（H25～27）



■ 施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発（H26～28）



木質バイオマス等を燃料とする加温機から発生するCO₂を有効利用し、作物の収量を増加させるための低コストなCO₂貯留・供給装置及び効果的なCO₂施用技術を開発



到達目標

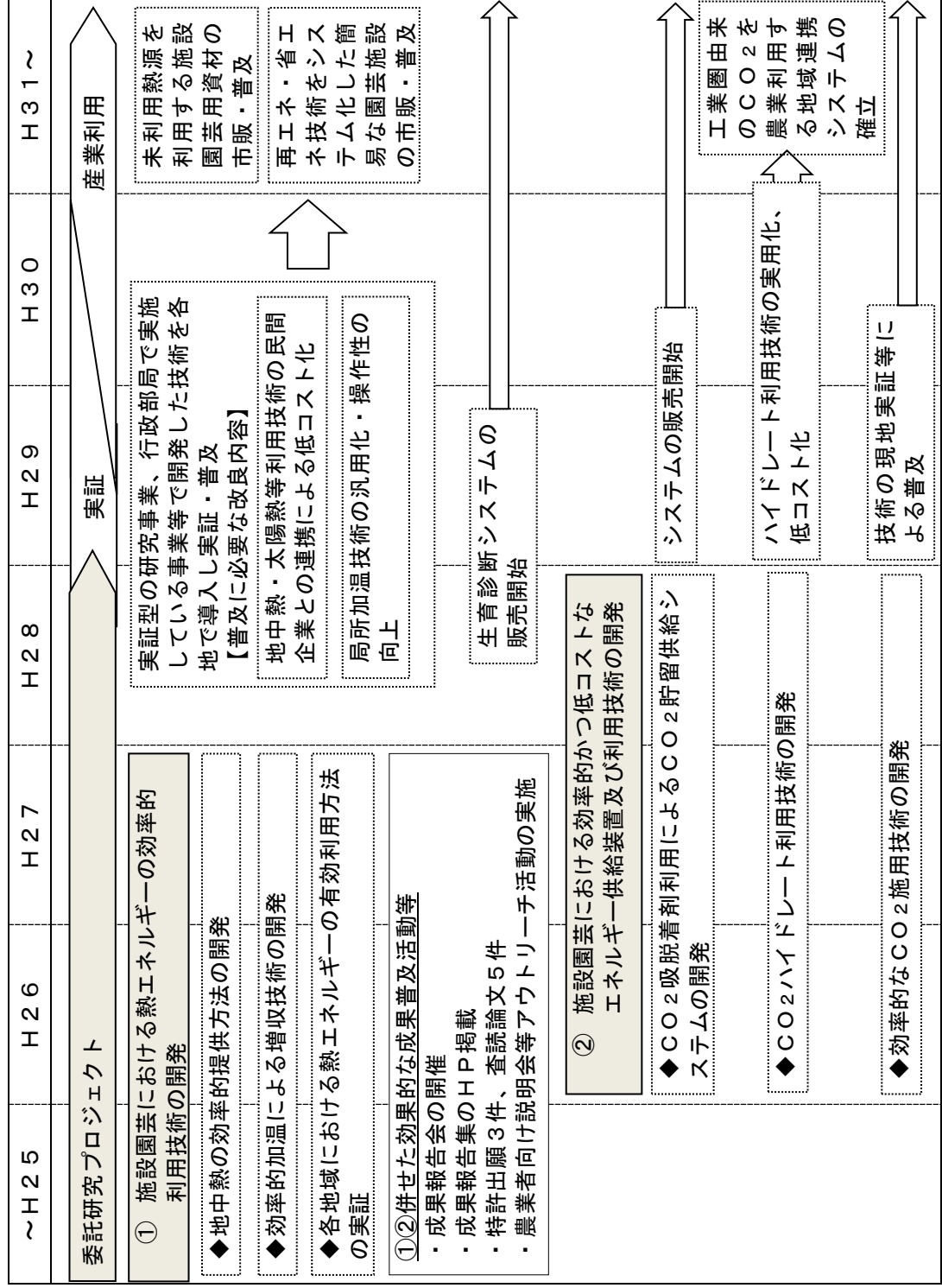
- 中・低温の熱エネルギーの利用技術の開発（導入コストを抑え、燃油使用量を半減）
- 加温機等からのCO₂利用技術の開発（収量増により、更なる経営収支向上）

アウトカム目標

- 農山漁村の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギーの導入促進
- 農山漁村の自立・分散型エネルギー供給体制の形成

【ロードマップのイメージ（終了時評価段階）】

施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー利用技術の開発



アウトカム【H32】

課題①：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

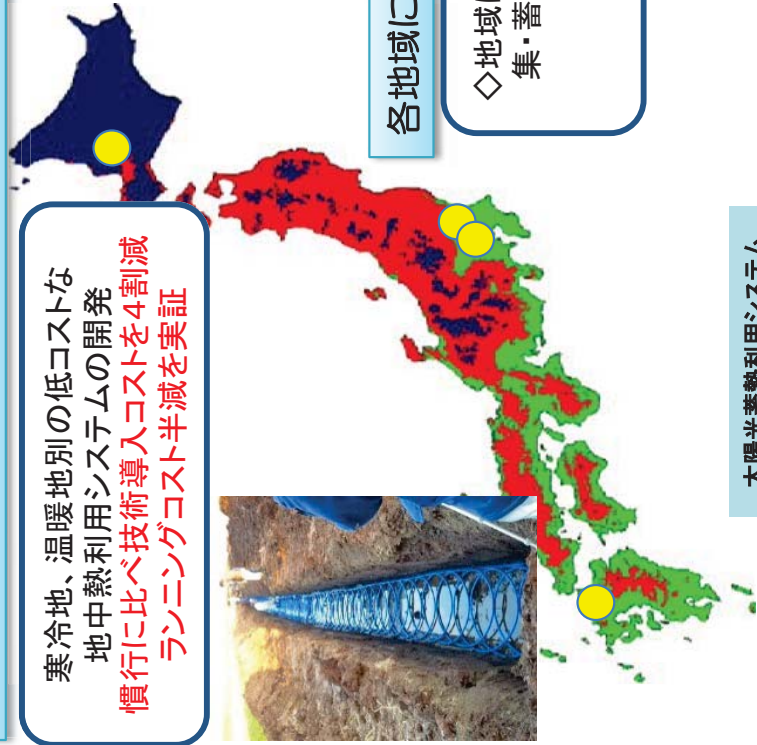
これまでの主な成果

- 地域の気候特性に応じた浅層地中熱や太陽熱を利用した施設園芸における効率的な利用技術を開発・実証
- 局所加温や生育診断による効率的な熱利用技術の開発

成果のポイント

施設園芸における地中熱の効率的提供方法の開発

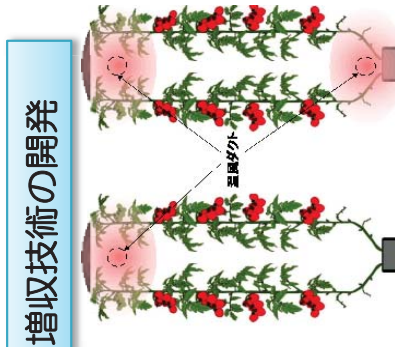
寒冷地、温暖地別の低コストな
地中熱利用システムの開発
慣行に比べ技術導入コストを4割減
ランニングコスト半減を実証



テープヒーターによるクラウン加温



ナスの茎加温器

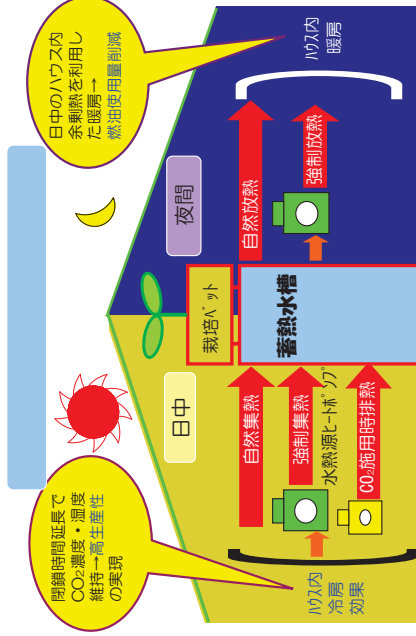


トマトのデュアル加温(右)

各地域における熱エネルギーの有効利用方法の構築

◇地域に応じて各熱源(地中熱・太陽熱等)の
集・蓄熱技術、局所加温技術を組み合わせ、最適化
燃油使用量を最大10割削減
エネルギーコストを最大8割削減

太陽光蓄熱利用システム



効率的加温による増収技術の開発

- ◇トマトのデュアル加温、ガーベラのクラウン加温、ナスの茎加温等効率的な加温技術を開発
- ◇開発した群落分析システムによる加温の最適化
燃油使用量の半減



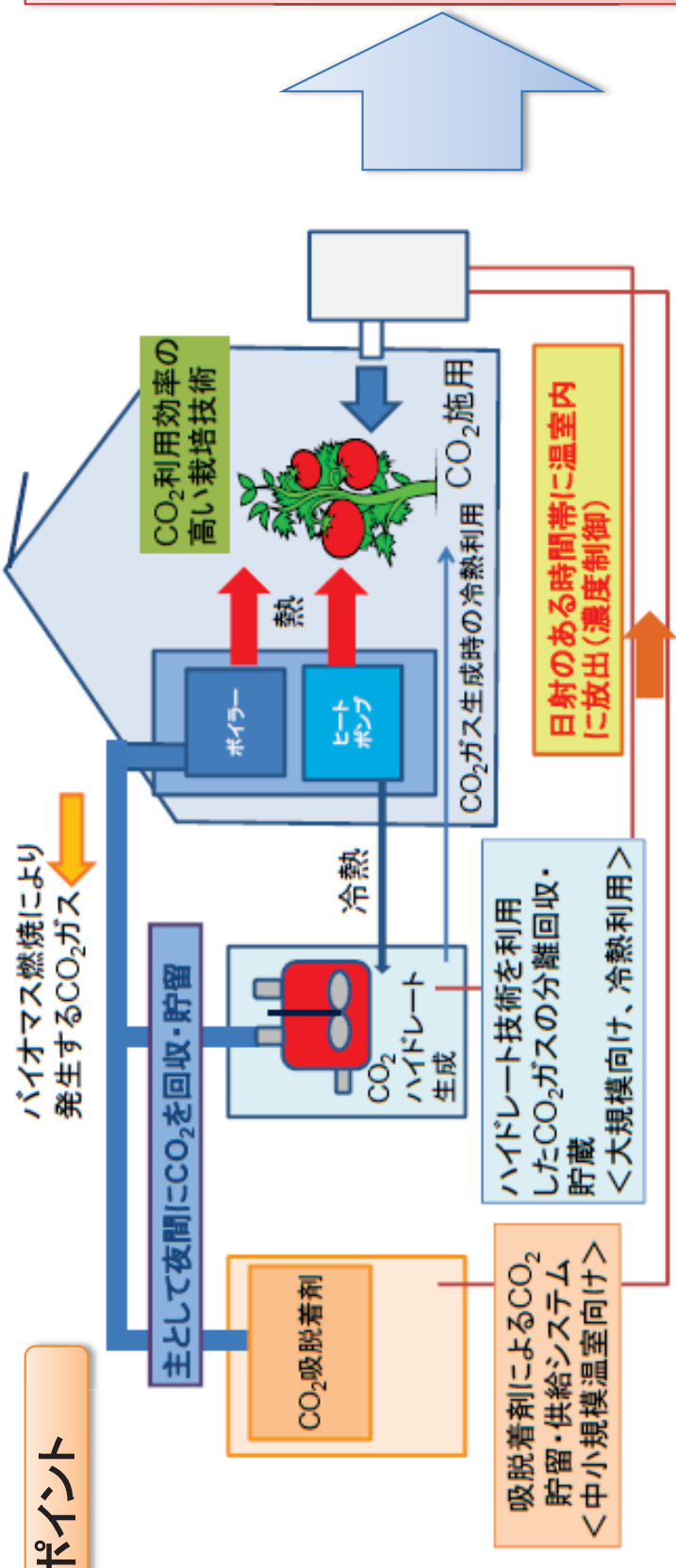
市販のセンサを利用した群落分析システム

課題②：施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発

これまでの主な成果

- CO₂吸脱着剤を利用したCO₂貯留・供給システムを開発し、燃油加温機の排気ガス由来のCO₂の農業利用に成功。
- 農業分野で利用しやすいハイドレート技術を活用したCO₂回収・貯留・供給システムを構築。
- ハウス内のCO₂濃度ムラや挙動を明らかにし、CO₂を効率良く光合成に利用するための施用方法及び栽培方法を解明。

成果のポイント



加温機から発生する二酸化炭素を有効利用し、作物に施用することにより収量増

吸脱着剤利用によるCO₂貯留・供給システムの開発

燃油加温機の排気ガスに対応した試作機を6台製造。盛岡から福岡までの気象条件の異なる地域で現地実証。

次年度、バイオマス加温機向け試作機を完成させ現地実証

施設園芸におけるCO₂ハイドレート利用技術の開発

農業分野で利用しやすいCO₂ハイドレートの生成条件等の探索、施設園芸向けCO₂ハイドレート利用システムの設計を実施。

次年度、農業ハウスにシステムを設置し、栽培に利用して性能評価を実施

効率的なCO₂施用技術の開発

CO₂施用効果を高めるための肥培管理、草姿管理の関係の解明。ハウス内のCO₂濃度ムラや窓開閉時の挙動を明らかにし、無駄のない効率的なCO₂施用方法を解明。

次年度、CO₂の効率的な施用技術と効果的な栽培技術をマニュアル化

論文数等共通事項調査票

(平成28年2月13日調査時点)

事業名	施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー利用技術の開発					
実施期間	平成25～28年度			評価段階	終了時	
予算額 (百万円)	初年度 (25年度)	2年度目 (26年度)	3年度目 (27年度)	4年度目 (28年度)		総合計
	100	151	121	43		415

項目	① 査読 論文	②国内 特許権等 出願	③海外 特許権等 出願	④国内 品種登録 出願	⑤ プレス リリース	⑥ アウトリーチ 活動
実績件数	5	3	0	0	0	40

具体的な実績(件数の多いものについては、代表的なもの(10件程度)を記載。)

①査読論文

- ◆柴田昇平(2015), Usage of Underground Heat Exchanged Air on Tomato Production, Journal of Agricultural Meteorology
- ◆柴田昇平(2015), Estimation of Soil Temperature Distribution in Japan with Regional Atmospheric Model WRF
- ◆Hiroki Umeda, Dong-Hyuk Ahn, Yasunaga Iwasaki, Seiji Matsuo, Satoshi Takeya(2015) A cooling and CO2 enrichment system for greenhouse production using CO2 clathrate hydrate. Engineering in Agriculture, Environment and Food. 2015. 8(4), 307-312
- ◆Sanehiro Muromachi, Hidenori Hashimoto, Tatsuo Maekawa, Satoshi Takeya, Yoshitaka Yamamoto(2015) "Phase equilibrium and characterization of ionic clathrate hydrates formed with tetra-n-butylammonium bromide and nitrogen gas", Fluid Phase Equilibria
- ◆Satoshi Takeya, Sanehiro Muromachi, Yoshitaka Yamamoto, Hiroki Umeda, Seiji Matsuo(2016) "Preservation of CO2 Hydrate under Different Atmospheric Conditions", Fluid Phase Equilibria

②③④(国内外)特許権等出願・品種登録

- ◆植物栽培用の環境制御システム 出願番号:特願2014-180379
- ◆植物群落構造解析システム 出願番号:特願2014-180380
- ◆株元保温器および長茎植物の栽培方法 出願番号:特願2015-078467

⑤プレスリリース

⑥アウトリーチ活動(研究活動の内容や成果を社会・国民に対して分かりやすく説明する等の双方向コミュニケーション活動)

- ◆地球環境・新エネルギー技術展&セミナー「エコテック2014&エコベンチャー・メッセ2014」話題提供(平成26年10月8日、西日本総合展示場(北九州市小倉))
- ◆農業電化研究会において地中熱ヒートポンプに係る成果発表(平成26年11月13日、平成27年11月18日、東京ビッグサイト)
- ◆平成26年度九州沖縄地域マッチングフォーラムで技術紹介「イチゴのより早い出荷、増収と省エネを両立、クラウン温度制御技術の低コスト化」(平成26年9月3日九州大学医学部大ホール)
- ◆第5回トマト・キュウリサミットinさいたまにおいて熱プロ成果報告(平成27年1月22日、埼玉会館)
- ◆兵庫県ハウスいちご研究会 第32回総会記念講演会において熱プロ成果報告(平成27年10月30、加古川総合文化センター)
- ◆平成27年度近畿地域マッチングフォーラムで技術紹介「奈良県農業研究開発センターにおけるイチゴの栽培技術に関する最近の取組」(平成27年11月5日新大阪丸ビル)
- ◆いちご王国躍進大会において「イチゴ新技術の研究開発」として熱プロ研究成果を紹介(平成27年11月4日パルティ宇都宮)
- ◆「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」栃木県発表会(平成27年11月10日、栃木県総合文化センター)
- ◆アグリビジネス創出フェア2015「熱プロ」ブース設置及びセミナーの実施(平成27年11月18~20日、東京ビッグサイト)
- ◆成果報告会「生産現場に革新を起こす施設栽培の最先端技術」(平成27年11月30日、豊橋サイエンスコア)

その他(行政施策等に貢献した事例)

今後予定しているアウトリーチ活動等

◆H28年度に「施設園芸における効率的かつ低コストなエネルギー供給装置及び利用技術の開発」成果発表会他を予定