

【課題名】スピーキング・プラント・アプローチ型環境制御を組み込んだセミクロズド・電化パイプハウスの開発(委託)

【代表者】豊橋技術科学大学 高山弘太郎

【実施予定年度】令和4年度～令和6年度

(1)技術開発・実証の概要

①【課題の概要・目的】

2050年までに園芸施設における化石燃料使用量ゼロを達成※1するために、わが国の園芸施設の約96%※2を占めるカマボコ型パイプハウス等をターゲットとして、気密性の向上と換気の完全制御を可能にした“セミクロズド(SC)・パイプハウス”を新たに開発し、これに電気ヒートポンプ冷暖房と植物生体情報計測技術を連携させた世界初となるスピーキング・プラント・アプローチ型環境制御システム[新規性]を導入することで、燃焼式暖房で発生するCO₂の削減と植物生体情報に基づいた最適環境制御[新規性]による生産性向上[実用性](暖房設定気温の最小化による追加的なCO₂削減、冷房による光合成促進による増収[発展性])を同時に達成する。
※1:みどりの食料システム戦略(農林水産省、R3.5)、※2:施設園芸をめぐる情勢(農林水産省、R3.4)

②【技術開発の内容】

○重要な開発要素

A1.【セミクロズド(SC)・パイプハウスの開発】

従来のパイプハウスは隙間が多く、高精度な環境制御が困難であった。本開発では、換気窓の最小化・隙間リーク低減による気密性向上と換気・循環空調ユニットの開発により、環境制御精度を飛躍的に向上させる(実用化レベルに2025年到達見込)。

A2.【電気ヒートポンプと換気制御による複合環境制御】

SCパイプハウスに設置した電気ヒートポンプと換気・循環空調ユニットが連動した複合環境制御システムを開発し、気温・湿度・CO₂濃度・日射の自動制御を可能にする。従来の環境制御装置を改良することで実用化を早める(実用化レベルに2024年到達見込)。

A3.【スピーキング・プラント・アプローチ環境制御システムの開発】

植物生体情報計測技術を用いてハウス内で栽培されている作物個体群の光合成速度・蒸散速度・成長速度をリアルタイムに計測し、これらの効率を最大化する(植物生体情報駆動型)環境制御アルゴリズムを開発する(実用化レベルに2025年到達見込)。その他の開発要素:

A4.【普及型植物生体情報計測技術の開発】

大規模ガラス温室用に開発してきた植物生体画像計測ロボット・光合成蒸散モニタリングシステムをカマボコ型ビニルハウス向けにカスタマイズして実装する。

B・C.【システム統合・実証における課題と対策】

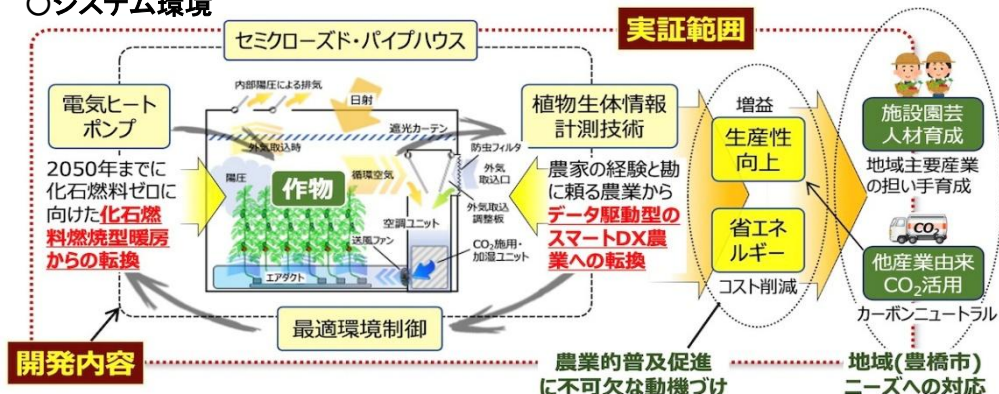
ITベンダー等の協力を得て植物生体情報と環境情報の計測安定性を担保する。また、環境制御においては換気・循環空調ユニットの安定動作が必須条件であり、故障(ネットワーク障害・停電)時の対策を講じる。

D.【事業戦略の深化】

国内外の動向調査と競合分析を行い、課題整理とマニュアル化、コスト分析でビジネスモデルを構築する。教育・実証を通じて知見を蓄積し、知財戦略も含め事業化基盤を整備する。

③【システム構成】

○システム環境



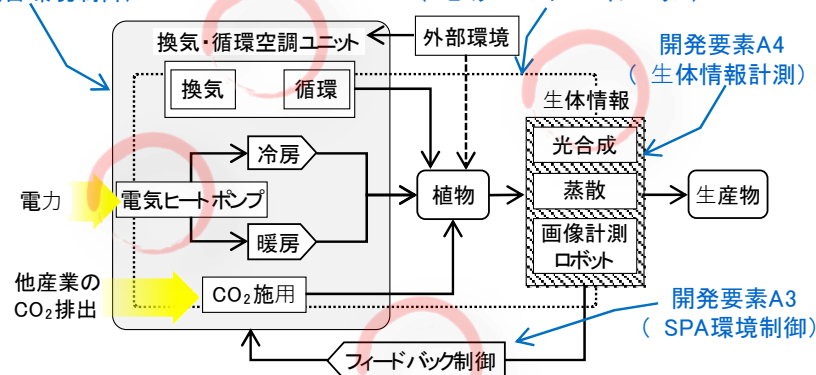
○システム構成

開発要素A2
(複合環境制御)

開発要素A1
(セミクロズド・パイプハウス)

開発要素A4
(生体情報計測)

開発要素A3
(SPA環境制御)



④【開発・実証成果のまとめ】

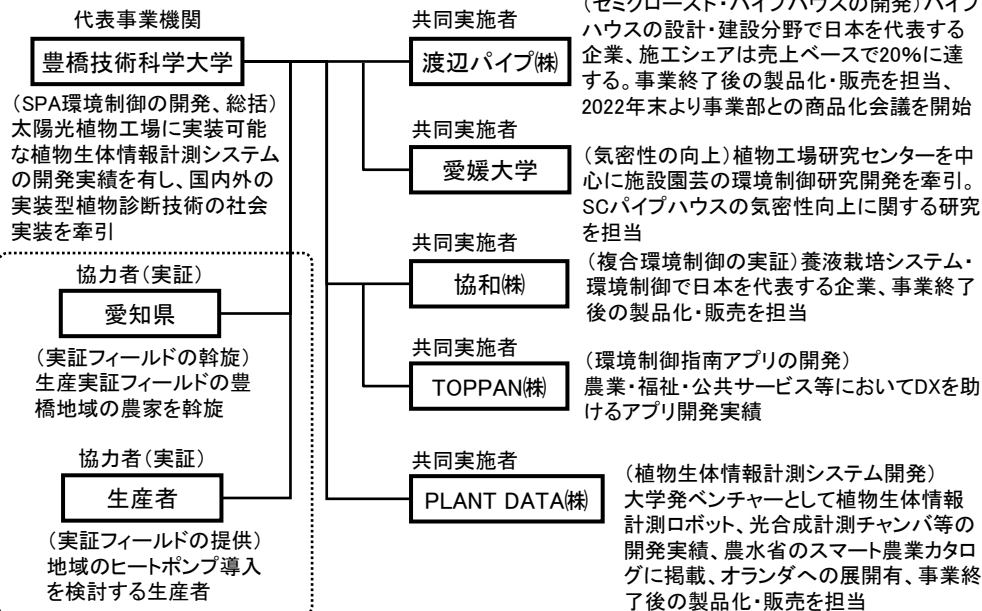
○開発・実証の目標及び達成状況:

- ・CO₂削減効果(14t CO₂/20a/年)を確認した
- ・従来比20%以上の増収を実証した

○想定ユーザ・利用価値: 加温装置がある温室17,400ha・生体情報に基づいた環境制御によるエネルギーコスト低減と生産性向上

(2) 技術開発・実証の実施内容

①【実施体制】



②【実施スケジュール】

	令和4年度	令和5年度	令和6年度
A1.セミクローズド(SC)・パイプハウスの開発			
	委託:26,250千円	委託:20,045千円	委託:11,705千円
A2.電気ヒートポンプと換気制御による複合環境制御			
	委託:25,092千円	委託:16,508千円	委託:14,500千円
A3.スピーキング・プラント・アプローチ環境制御システムの開発			
	委託:23,900千円	委託:20,200千円	委託:11,200千円
A4.普及型植物生体情報計測技術の開発			
	委託:25,000千円	委託:20,000千円	委託:0千円
B/C.スピーキング・プラント・アプローチ型環境制御を組み込んだセミクローズド型環境制御を組込んだセミクローズド型環境制御の深化			
	委託:0千円	委託:22,500千円	委託:56,100千円
D.事業化戦略の深化			
	委託:0千円	委託:0千円	委託:0千円
その他経費	委託:7,170千円	委託:8,160千円	委託:5,070千円
総事業費	委託:107,412千円	委託:107,413千円	委託:98,575千円
	補助:0千円	補助:0千円	補助:0千円
合計(委託+1/2補助)	107,412千円	107,413千円	98,575千円

③【成果発表・特許取得状況】

- ・特許出願(特願2023-147429, 園芸施設における空気循環と換気の高精度制御装置)
- ・施設園芸・植物工場展(GPEC)(2024年7月25日)招待講演「環境に配慮しながら利益を上げるデジタル施設園芸」(発表者:高山)
- ・日本生物環境工学会2024年大阪大会(2024年9月18日)「セミクローズド温室内のトマト群落を対象としたリアルタイム光合成計測-ダイナミック換気制御に対応した計測アルゴリズムの開発-」(発表者:代田、高山ら)等

(3) CO2削減効果の評価

【提案時当初計画】 ※実施期間中における専門委員会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

開発品(装置/システム)1台当たりの単年度CO2削減量(t-CO ₂ /台・年)	14~27		
開発品(装置/システム)の耐用年数	8年		
年度	2025(販売開始)	2030	2050
単年度CO ₂ 削減量(万t-CO ₂ /年)	140 t	1万 t	4.6万 t
累積CO ₂ 削減量(万t-CO ₂)	1120t	9.7万 t	830万 t
CO ₂ 削減コスト(円/t-CO ₂)	4.5万円	3.6万円	1.4万円

【本資料作成時点見込み】

本表の年次は固定

開発品(装置/システム)1台当たりの単年度CO2削減量(t-CO ₂ /台・年)	14(2030) 21(2030~)		
開発品(装置/システム)の耐用年数	8年		
年度	2025(販売開始)	2030	2050
単年度CO ₂ 削減量(万t-CO ₂ /年)	140t	1.5万t	93万t
累積CO ₂ 削減量(万t-CO ₂)	1120t	9.7万t	740万t
CO ₂ 削減コスト(円/t-CO ₂)	4.5万円	3.6万円	1.8万円

(4)事業化について

【事業化計画】

- ・2025年までに、農水省等のカーボンニュートラル補助金の対象(施設園芸のカーボンニュートラルに有効なシステム)とする活動を推進
- ・2025年までに、要素技術を統合したシステム全体の特許を出願・取得した上で渡辺パイプ(株) グリーン事業部が連携・モデル農家への販売を開始
- ・2030年までは、既存農家の規模拡大や設備更新をターゲットとして販売実績を積み上げる
- ・2030～50年は、新規就農者を含め全ての小中規模農家をターゲットとして普及拡大

○事業化の体制

渡辺パイプ(株)が中心となり、SCパイプハウス用環境制御システムを設計・設置・製品化・販売する。ユーザー指定のハウスに組み込む。システムには、PLANT DATAによる光合成・蒸散等の植物生体情報計測機能や、協和の養液栽培システムおよびTOPPANの栽培支援サービスを付随的に活用。豊橋技術科学大学・愛媛大学が技術指導・人材育成を行い、栽培支援サービスを提供する。排出CO₂活用を希望する工場(マルシメ等)と連携し、J-クレジット制度活用を環境省・農林水産省が支援。また、さらなる販売候補事業者としてE社・N社と調整中。

○事業展開における普及の見込み

- ・対象市場規模、想定事業規模:2,610億円(加温装置がある温室の17,400haのすべてが導入[施設園芸をめぐる情勢、農林水産省 R3.4])、想定ユーザーは家族経営(3名[主従事者1～2名]、臨時雇用1名)の小中規模農家(20～60a)
- ・導入コスト目標:500万円/20a(従来品の価格:0万円/20a)
- ・運用コスト目標:100万円/20a(従来品の価格:130万円/20a)
- ・製品単純回収年数:17年程度(導入コスト差額÷年間運用コスト差額)

【提案時当初計画】※実施期間中における専門委員会等で計画変更が認められた場合等はその設定値

○年度別販売見込み

年度	2025(販売開始)	2030	2050
目標単年度販売台数(台)	10	350	1,700
目標累積販売台数(台)	10	360	2,060
目標販売価格(円/台)	500万円	400万円	300万円

【本資料作成時点見込み】

本表の年次は固定

年度	2025(販売開始)	2030	2050
目標単年度販売台数(台)	10(5)	350(150)	1,700(1,000)
目標累積販売台数(台)	10(5)	870(300)	17,000(7,000)
目標販売価格(円/台)	500万円	400万円	300万円

○量産化・販売計画

- ・2025年までに、農水省等のカーボンニュートラル補助金の対象(施設園芸のカーボンニュートラルに有効なシステム)とする活動を推進
- ・2025年までに、要素技術を統合したシステム全体の特許を出願・取得した上で渡辺パイプ(株) グリーン事業部が連携・モデル農家への販売を開始
- ・2026年までに、連携・モデル農家ででの生産を通じたシステム全体の低コスト化・高効率化・自動化によるUXの改善を推進
- ・2030年までに、愛知県・豊橋市・JAあいち経済連と連携し、周辺地域に展開開始。また、渡辺パイプ(株)の全国146ヶ所のサービスネットワークを通じて全国展開。
- ・2026年までに、他産業が排出するCO₂を活用するCO₂地消技術の実証着手
- ・2030年までに、海外への事業展開に着手

○事業拡大シナリオ

年度	2025	2026	2030	2050 (最終目標)
補助金対象となる技術確立	農水省 意見交換	→ 関連省庁・自治 体の理解促進	→	カーボンニュートラル・ SDGs施設園芸 プラットフォーム
販売促進に 資するUX改善	連携・モデル農家での 生産によるUXの改善		→ 一般農家 への展開	→ 国内パイプハウス の20%以上が本 システムを採用
他産業排出CO ₂ 活用技術の確立	実証試験に着手・ システム開発		→ 生産シス テム販売	→ 複数地域におけ るCO ₂ 地消シス テムとして採用
海外への 事業展開	国内でのサービス確立		→ 東アジア 展開	→ 国内と同等以上 の販売実績

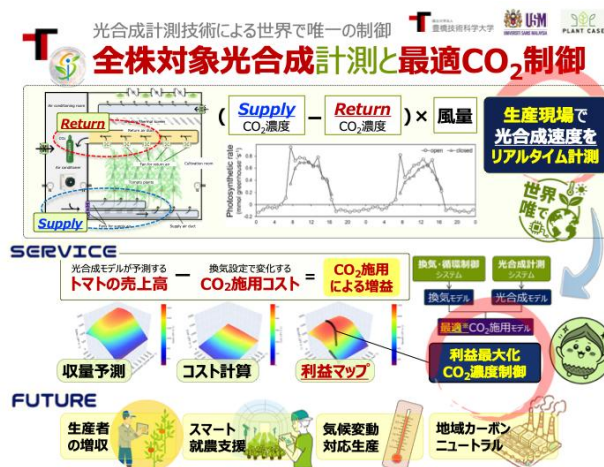
○事業化におけるリスク(課題・障害)とその対策

- ・国際情勢と連動した各種コスト(資材、燃料等)高騰への対応
- ・低コスト化・高効率化・自動化・他産業連携CO₂活用技術開発のための資金確保
- ・他産業連携において農地以外へのSCパイプハウス設置時の要件緩和
- ・海外への事業展開において地域・国ごとの連携先の確保

①特筆すべき成果Ⅰ【競合優位性の明確化】
世界唯一の利益最大化CO₂施用の標準装備
 SCパイプハウスでは、作物群の光合成速度をリアルタイムに計測し、その応答に基づいて構築されたCO₂濃度応答モデルを活用することで、施用CO₂による売上増加効果を定量化できる。また、換気が完全に制御されるため、CO₂施用コストを精緻に把握することも可能である。これらを組み合わせることで、売上増加分と施用コストとの差分を算出し、最大利益を与えるCO₂濃度を一意に決定できる点が特徴である。

②特筆すべき成果Ⅱ【地域産業への貢献】
リノベーションハウスによる空きハウスの先端化
 自治体において深刻化している後継者不足や有休・放棄ハウスの増加という社会課題に対し、リノベーション型SCパイプハウスの設計・実証を進めた(PLANT CASE株)と渡辺パイプ(株)が連携)。この取り組みを通じて、放棄されつつある施設の再活用が可能となり、農業の持続性確保と地域経済の活性化に寄与すると期待される。

③特筆すべき成果Ⅲ【他産業連携によるCO₂削減と生産性向上の両立の取り組み】
焼却施設の排ガスCO₂を活用した農業生産
 地域企業(マルシメ株)敷地内に移設した実験用小型SCパイプハウスにおいて、隣接する産業廃棄物焼却施設(マルシメ株の子会社である株)マルサワが管理)の排気ガスに含まれるCO₂を施用に活用したトマト生産に挑戦する。有害物質除去の課題については、F社の自動車排気ガス浄化技術を応用し、解決を図る。なお、マルシメ株と連携し、排ガス由来CO₂を活用したSCパイプハウスの事業化可能性を検討する。



地域の課題解決 空きハウスの活用



空きハウスが増えてきている

1人の経営者が点在する複数の圃場を管理
 点在する複数圃場で勘と経験に
 基づいて農業生産するには
 限界がある

空きハウスを
リノベーションして活用

点在する複数圃場を
データに基づいて農業生産



④成果の公表 【論文】

T. Yuliawan, S. Arai, Y. Isoyama, Y. Oba, Y. Yamamoto, T. Shiota, N. Fujiuchi, K. Takayama. Development of A New Two-Way Air Duct System to Improve Air-Tightness Performance and Environmental Conditions Uniformity of A Semi-Closed Tunnel-Type Pipe House(投稿中)
 ※関連論文を投稿準備中

【発表】最新のものをピックアップ

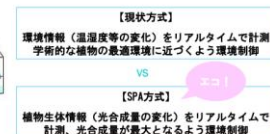
(招待講演)高山・稲葉・藤内、利益最大化CO₂施用を実現するSPAセミクローズド温室。日本学術会議公開シンポジウム「Speaking Plant Approach 2.0 ～農業生産現場実装と学術の次なる挑戦～」2025年9月16日
 (招待講演)高山、利益最大化を目指すヒートポンプ・CO₂高度活用型施設生産。施設園芸新技術セミナー・機器資材展 in 愛知 2025年9月4日
 (招待講演)高山、植物生体情報に基づいて最適環境制御を実現するデジタル施設園芸。令和7年度園芸学会近畿支部大阪大会 2025年8月28日
 (招待講演)高山、植物生体情報に基づいて最適環境制御を実現するデジタル施設園芸。AGTS農業展(Aichi Sky Expo) 2025年7月10日
 温室全体を対象としたリアルタイム光合成計測システムの開発ー作物個体群光合成の環境応答解析ー
 磯山・代田・荒井・T. Yuliawan・大場・藤内・高山、セミ・クローズド温室の気密性と環境均一性を向上させるゼロ気圧差空気循環システムの開発。2025年生態工学会年次大会 2025年7月4日
 磯山・荒井・T. Yuliawan・大場・代田・藤内・高山、セミ・クローズド温室の気密性と環境均一性を向上させるゼロ気圧差空気循環システムの開発。2025年生態工学会年次大会 2025年7月4日

⑤特許取得等の実績

高山・磯山・大場・荒井、特願2023-147429 空調システム及び作物育成システム
 ※本研究で確立した知的財産については、現在、T社が進める新規事業(イチゴ生産システムの開発・展開)において活用することを前提に事業計画が策定されており、豊橋技術科学大学からのライセンス供与に関する具体的な交渉が進行中である。今後は、SCハウスを基盤としたイチゴ生産システムの事業化を加速させるため、新たに大学発ベンチャーを設立し、T社と共同で事業推進を図る計画(下図)である。これにより、学術的成果を社会実装へと展開し、施設園芸の新たな市場創出と国際競争力の強化に貢献することが期待される。

新HYBRID型植物工場の特徴：SPA

Speaking Plant Approach: 計測した植物生体情報に基づき環境制御を行う方法
 資源投下量の最適化(最小化)を実現する低環境負荷の新技術



事後評価結果

評価点 6. 6点（10点満点中。（10点：特に優れている、8点：優れている、6点：問題ない、4点：多少問題がある、2点：大きな問題がある））

評価コメント

〔評価される点〕

- ・ セミクローズド・パイプハウス、電気ヒートポンプ空調、植物生体情報計測技術の組合せにより、施設園芸におけるCO₂削減とトマト収量の20%増収(全国平均基準)を実証し、リノベーションによるハウス資材のコスト削減策の提案、共同実施者による事業化と並行してライセンス供与についても検討が進んでおり、実用化の準備が整ったことは評価できる。

〔今後の課題〕

- ・ トマト収量増大の評価基準として全国平均を用いているが、従来ハウスと条件を揃えた上で比較評価する必要がある。
- ・ 環境制御に加え植物生体情報計測による制御を加えたシステムとなっているが、後者を加えたことによるCO₂排出削減及び作物増収効果の定量化が望まれる。
- ・ 小規模農家への普及のためには安価で簡便なシステムが必要であり、スピーキング・プラント・アプローチ技術が利用しやすいよう製品のユーザーインターフェースや利用者のための適切なフォローアップの両面から追求することが望まれる。また、栽培作物の種類の広がりに応じた植物生体情報計測技術の最適化や条件の変動に迅速に対応する制御システムの確立が望まれる。

〔事業化に向けたコメント〕

- ・ 資材・エネルギー価格の上昇により、設備投資におけるコスト意識は高まっていると考えられる。収量増加や品質向上効果、ユーザー利用の容易さ(高性能ユーザーインターフェース、安定した自動制御、利用者独自の手動制御等)、リノベーションの容易さ(低廃棄物発生量、低改造コスト)について現場データの蓄積と解析、システムや利用者へのフィードバックを通して最終的に利用の増加が進むような努力が望まれる。
- ・ 本システムを導入した農家に対して現場データの積極的な提供を促す仕組みにより多くのデータを収集・解析して、施設園芸農家が本システムを導入することで得られるメリットを、個別の事例に基づいて分かりやすく情報発信していくことが望まれる。
- ・ CO₂の調達を他産業等に依拠する点は、その質(有害物質等)・量の不確かさや変動があり得ることから、経済性評価に加えてどの産業・施設からどのような方法でCO₂を入手するか等、幅広い視点からの検討が望まれる。
- ・ 今回の実証事業では水耕栽培を対象としたが、土耕栽培への適用の検討も望まれる。