

令和3年度

戦略的基盤技術高度化・連携支援事業

戦略的基盤技術高度化支援事業

「IoT技術を活用した農業の効率化および高効率エネルギー
マネジメントシステムの開発」

研究開発成果等報告書

令和4年5月

担当局 関東経済産業局

補助事業者 公益財団法人千葉県産業振興センター

目 次

第1章 研究開発の概要

- 1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標 p 3
- 1-2 研究体制 p 7
- 1-3 成果概要 p 8
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口 p 9

第2章 本論

- 【1】 光照射量・強度を加味した成長曲線推定手法の確立への対応 p 9
- 【2】 水素蓄電システムにおけるオンサイト水素生成量予測手法の確立への対応 p 13
- 【3】 オンデマンド生産を可能にするリアルタイム自動機器制御手法の確立への対応 p 17

最終章 全体総括

- 3-1 複数年の研究開発成果 p 21
- 3-2 アドバイザーによる講評 p 22
- 3-3 研究開発後の課題 p 22
- 3-4 事業化展開について p 23

第1章 研究開発の概要

1-1 研究開発の背景・研究目的及び目標

「研究背景」

近年、農業従事者の高齢化や自給率の低下、狭い国土など、旧来からの露地栽培（図1左）を基本とした日本の農業は厳しい環境にあると言われている。その一方で屋内栽培施設である植物工場（図1右）はIoTなどの先進技術の導入によって、参入する農業事業者は急増中であり、農業の新しい可能性が期待されている。しかし、現状は収益悪化のため多くの先行企業が撤退（東芝など）、経営破綻（株式会社みらいなど）している。ところが、最近の異常気象や自然災害に起因する農作物収穫量の不安定さによる価格の大幅な変動から、年間を通して安定的かつ新鮮な野菜が供給可能な植物工場や施設園芸が見直されようとしている。特に、新鮮野菜の供給にコストがかかる離島などでは、国土交通省や農林水産省などの先導により植物工場誘致の検討が広く行われており、多くの植物工場建設計画が組上りにあげられている。アドバイザーであるエコデシックにおいても、本土での植物工場計画より、御蔵島、壱岐、種子島等々離島での植物工場建設計画の引合数の方が多い状況である。

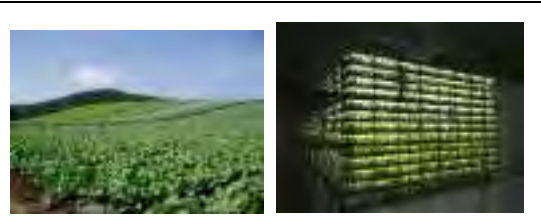


図1: 露地栽培 (左) と植物工場 (右)

表1は、露地栽培と植物工場の生産物の価格比較を示している。現状、植物工場生産物の価格は露地栽培生産物の1.5倍以上としない採算があわないことは業界の常識であり、離島のような特殊市場であったとしてもこの価格差は大きな課題になっている。代表的な収益性向上の方法としては、高速促成栽培技術による生産量増強が挙げられている。しかし、一般的な光合成を促進させるために人工光照射を高めるという手法では、エネルギーコストも増加するためコストパフォーマンスの大幅な向上は見込めない。さらに離島では、系統電力からの供給自体に制限があるため、結果として誘致の断念、施設規模の縮小などが余儀なくされている。

表1: 露地栽培と植物工場の価格比較

事例	露地栽培	植物工場
NHK報道(2017) 1袋あたりの販売価格	¥100	¥158
経産省報告(2015) 1kgあたりの出荷価格	¥300	¥500

この課題の解決策として、太陽光などの再生可能エネルギー（以下、再エネ）を活用した植物工場が検討されている。現在の太陽光発電は気象等の外的要因により不安定となるため、その対応として大容量の蓄電装置が必要となる（図2）。しかし、植物工場のような需要家に対して、現状主流のリチウムイオン蓄電池ベースの蓄電システムを導入することはコストが見合わず効果的ではない。これに変わる電力蓄電手段として水素蓄電システムの活用が望まれているが、現状では、ホテル等の大規模施設や非常電源用途の実証システム程度の事例しかない。離島以外においても、アドバイザーであるエコデシックでは、ドバイ、インド、タイ等での植物工場導入の検討を進めているが、商用電源が無い場所での立地や、あっても不安定な電源供給という問題を抱えており、再生可能エネルギーを用いた独立電源型の植物工場等の需要は高い。また、国内においても太陽光発電事業者がFIT（再生可能エネルギーの固定価格買い取り制度）法改正等の動きから、植物工場事業への参入を検討しているが、採算等の問題により、そのニーズに応え切れていないのが現状である。さらに、夏場などにおいて、電力供給が逼迫した場合電力抑制の要求が電力会社から求められるが、植物工場ではその特殊性からその要求に応えることはできず、系統電力に大きく依存しない植物工場・施設園芸等が市場から要求されている。

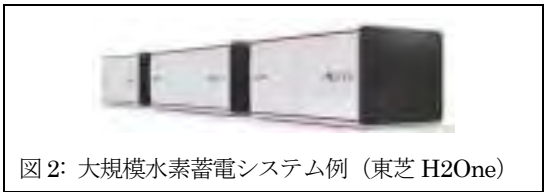


図2: 大規模水素蓄電システム例 (東芝 H2One)

【従来技術の問題点】

現在の植物工場においては、成長促進に人工光照射を用いるものが多く、露地栽培の栽培期間60~90日に対して45日程度に栽培が短縮されている。しかし、同時に大量な人工光による24時間連続照射や培養液の常時循環も要求するため、初期の植物工場と比較してエネルギー使用量が大幅に増大している。加えて、システム全体の規模が大きくなり、結果として昼夜問わず一定の大容量電力と大きなコストが要求され、これが大きな問題になり、植物工場の普及が進んでいない。その解決手段として再生可能エネルギーを用いた独立電源型の植物工場が期待されているが、「光照射時間が長くエネルギー使用料が大きい」「再生可能エネルギーは安定した発電が出来ず、無駄な発電も発生する」「蓄電電力容量が大きくなり、コストが下がらない」などの問題がある。

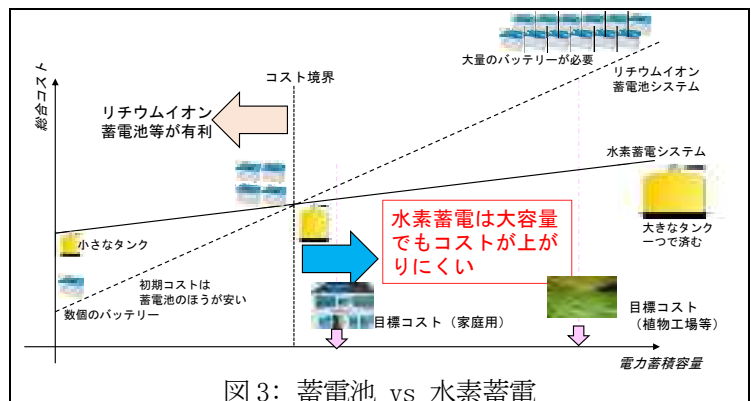


図3: 蓄電池 vs 水素蓄電

この問題の解決策としては1) スケールメリットのある蓄電媒体（水素蓄電）の適用（図3）、2) 光照射量、

蓄電量、電力使用料を自動調整する機能の適用が考えられる。しかし、現状の水素蓄電システムおよび植物工場は長期的な平準化が前提のため光照射や蓄電量及び電力使用料を自動調整する機能が含まれていない。

独立電源型の植物工場において上記2)を実現することは、需要量に応じた野菜の最適生産「オンデマンド生産」を実現することになる。近年、農業従事者の高齢化や自給率の低下、狭い国土など、旧来からの露地栽培を基本とした日本の農業は厳しい環境にあると言われている中、当社は再生可能エネルギーを活用したエネルギーマネジメントシステムの開発を通して農業従事者の高齢化対応や省エネルギーと食料の自給率の向上ができる社会構築に貢献して行きたいと考えている。

【研究開発動向】

一般的に高速促成栽培技術には光照射による成長促進アプローチが広く採用されており、栽培期間も播種後 45 日前後のものが多いが、前述の通り照明等のエネルギー消費の追加も必要となる。一方、エネルギーコスト削減という観点からは、空調設備の最適化、デシカント空調導入などのアプローチがあるが、劇的な成果を上げるには至っていない。

今後効果が期待されるアプローチとして、アドバイザーのエコデシックが開発した超高速促成栽培技術「アグロファクター」(図4)がある。この新しい栽培技術は根の刺激によって光合成の成長促進を活性化させる技術であり、栽培期間が播種後 25 日と大幅に短縮できる。現在、完全閉鎖型植物工場での実施を前提としているが、光照射については一定の条件内ならば 24 時間連続照射である必要はない。加えて、光照射停止または出力低下による栽培期間の調整が柔軟に対応可能であり、栽培期間を遅延させても栽培物の品質には影響ないことが既に実験的に確認されている。これは、今まで課題になっていた生産調整を実現する可能性があるため、非常に有利な新しい栽培技術であるといえる。

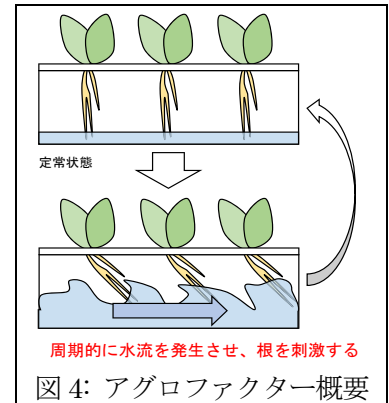


図4: アグロファクター概要

一方、再生可能エネルギーの蓄電については、エーディエスおよび共同体である東京大学では水素を用いて蓄電可能な小型水素蓄電システムの開発に成功している(図5)。

本分野における先行事例としては H2One (東芝) (図2) のような大規模蓄電システムがあるが、負荷調整を考慮できないため、タンクの大きさは年間平準化を意図した非常に大型かつ高価になっており、そのままでは植物工場への適用は難しい状況である。現状では、年間平準化に頼らずにタンクや設備を適正化でき、必要な水素生成量の予測等や負荷調整を含めたエネルギーマネジメントシステム(以下 EMS) は現在のところ存在しない。本共同体は今までの研究成果を生かし、その問題を解決できる革新的な EMS の開発と実用化を目指している。



図5: 小型水素蓄電システム外観

また、関連技術として、エーディエスは、精密農業のための圃場内センサネットワークシステムを確立している(図6)。本システムは様々なセンサを統合的に取り扱い、多角的なデータの収集・蓄積・解析を通じて、プロ農業者が使用できるシステムとして構築し、実際に圃場(福島県矢祭町)にて実証実験を実施している。この技術を今回研究開発する生育状況モニタリング技術に活用し、これについても技術の高度化を目指している。なお、このセンサネットワーク技術は、エーディエスが平成 23 年度採択されたサポインで開発された技術を横展開するものである。

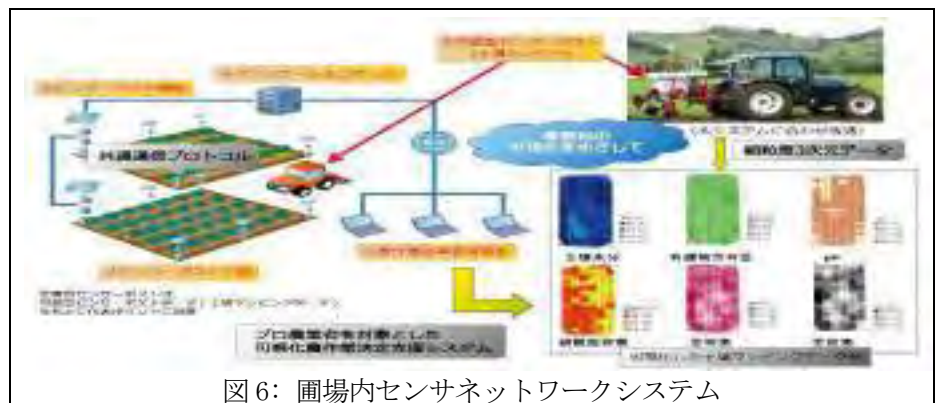


図6: 圃場内センサネットワークシステム

【関連特許】

特許番号：特願 2017-203684

発明の名称：水耕栽培装置および方法

出願人(発明者)：株式会社エコデシック(中嶋 将)

概要：従来の装置と比較して、栽培期間が短く、同等以上の収穫ができる、水根栽培装置およびその制御方法を提供する。本発明の水根栽培装置は先行技術とは異なる形状を持つと共に、栽培棚は満水状態と漏水状態を繰り返す。また、水根栽培装置の制御方式は、照明装置照明の明暗周期を、30分から最長24時間まで制御する。

役割：自動機器制御の根拠となる栽培期間延長が可能な高速栽培技術に関する特許である。成長曲線推定エンジンは、この特許で示された調整要素を前提に構築する。

「研究目的及び目標」

○目的

再生可能エネルギー買い取り制度の終了により、再生可能エネルギーを農業（植物工場、施設園芸等）に利用することが注目されている。しかしながら農業部門での栽培コストを考慮すると、エネルギー効率を高めつつそれを安い設備投資で実現する必要がある。本研究では、エネルギー効率と栽培効率を極大化するマネジメント技術の開発を行い、効率の高い農業の実現に寄与する。また本技術を他の産業分野へ拡大することも図る。

○従来技術と新技術の比較

表 2: 従来技術と新技術の比較

	従来技術	新技術
植物工場のエネルギーマネジメントシステム	<p> 昼夜問わず電気が必要 ＊太陽光発電量 vs 使用電力 夜間は商用電力が大型な蓄電媒体が必要 昼間は発電量を使い切れない可能性がある ⇒ 使用効率低下 エネルギーマネジメントなし 電力要求 負荷調整不可 昼夜問わず電力要求 24時間連続照射 24時間常時循環 生産調整不可 需供給ミスマッチによるエネルギー効率低下 植物工場 (高強度照射照明機器による高速促成栽培) </p>	<p> 成長曲線推定エンジン 水素生成量予測エンジン 自動機器制御エンジン 成長曲線 光照射を調整することで栽培期間を変更可能 24時間連続照射は不要 諸条件を満たすように自動調整 光照射 ポンプ 蓄電量 システム 発電予測 当初出荷日 出荷日確定 確定出荷日 蓄電分(水素)でまかなう 適切に蓄電(水素生成) 再エネ発電分を余すことなく使用可能、水素タンクも小型化を目指す ⇒ エネルギー使用効率改善 オンデマンド生産のためエネルギー効率が高い (根刺激による高速促成栽培のため生産期間が短い) </p>
新技術による課題解決方法	<p> 1 従来の栽培手法は光照射、光強度などを調整することが出来ないので 24h 連続光照射と大きな光強度が必要のためエネルギーコストが高く、かつ、栽培期間も長い(45日)。 2 エネルギー需給量を予測出来る機能がないので、得られた再エネ由来電力の多くが余剰となってしまいうため、エネルギー効率が悪い。 3 需要に応じた生産調整が出来ないため無駄な生産のためのエネルギーコストと廃棄費用が発生する。 </p>	<p> 1 新しい栽培手法は光照射、光強度などの調整が可能のため 24h 連続光照射と大きな光強度の必要がないためエネルギーコストが少なく(従来の半分以下)、かつ、生産期間の調整出来る(25日~45日調整可能)。 2 エネルギー需給量を予測できるので、再エネ由来電力を無駄なく使用可能となり、エネルギー利用効率が低い。 3 需要に応じた生産調整が可能のため無駄な生産のためのエネルギーコストと廃棄費用が発生しない。 </p>

○新技術を実現するために解決すべき研究課題

(二) 情報処理に係る技術に関する事項

1 情報処理に係る技術において達成すべき高度化目標

(4) 川下分野特有の事項

3) その他の分野に関する事項

d. 農業分野に関する事項

①川下製造業者等の特有の課題及びニーズ

ア. IT、IoTを活用したシステムによる農業の生産性向上

【1】 光照射量・強度を加味した成長曲線推定手法の確立

植物工場において、エネルギーコストの削減と生産量、出荷時期などを調整するためには光の照射量、強度（波長に対する強度、波長比率）を制御する必要がある。現在は栽培品種や環境に依存し、かつ、照射する光強度によって大きく変わり一意ではないため大量な光照射、大きな光強度を行っており、コストが高くなっている。最適な生産（エネルギーコストを抑える生産）をするためには光照射量・光強度を加味した成長曲線推定手法の確立が必要である。

【2】 水素蓄電システムにおけるオンサイト水素生成量予測手法の確立

植物工場において、再生エネルギーを無駄なく使用及び蓄積するためには水素生成量の正確な予測と系統電力切り替え制御が必要である。現状は年間の使用量から最大の水素を蓄電するシステムを構築しており、大規模な太陽光発電や水素タンクなど無駄な設備費用が発生している。最適な水素蓄電システム（無駄がない設備コスト）を構築するためにはオンサイトの気象情報により、発電量を予測し、利用率を高め、エネルギーコストを低減できるオンサイト水素生成量予測手法の確立と系統電力切り替え制御が必要である。

【3】 オンデマンド生産を可能にするリアルタイム自動機器制御手法の確立

最適なオンデマンド生産（需要に相応した栽培を行う）を実現するためには、顧客による買い取り予告（デマンド）日と出荷日までの日数を最大限少なくするだけではなく、突発的な要因（異常気象、豊作など）に対して無駄な生産を無くし、廃棄損を最小限にする生産調整機能（成長抑制等）が必要である。現在は栽培条件が多いという理由で栽培期間・量の調整が困難になっており、無駄な栽培と廃棄費用が発生している。最適な生産（無駄がない生産）を実現するためには光照射量、蓄電量、電力使用料を自動調整と電力関係の設備をリアルタイムに自動機器制御する手法の確立が必要である。

「研究開発の高度化目標と実施結果」

【高度化目標】

(二) 情報処理に係る技術に関する事項

(4) 川下分野特有の事項

3) その他の分野に関する事項

d. 農業分野に関する事項

②高度化目標

ア. センサ技術等の農業システム関連機器の開発や環境制御システム等の活用による農業システムの実現

離島などの電源供給に問題がある地域、及び商用電源の利用が困難な発展途上国等に植物工場の導入を推進できる再生可能エネルギーを活用した統合的エネルギーマネジメントシステム（IoT技術を活用した農業の効率化および高効率エネルギー利用）を開発する。また、本システムを通して、農業従事者の高齢化対応や省エネルギーと食料の自給率の向上ができる社会構築に貢献する。具体的には、受注量とリードタイムに応じた最適な生産「オンデマンド生産」を行いつつエネルギー効率を向上するために、新たな栽培手法（アグロファクター）を活用して天候情報、需要情報をタイムリーに収集し、水素蓄電量を予測し、栽培および電力関係の設備を自動制御する。

【実施結果】

下記の技術目標を達成することで当初の目標を達成した。

【1】 光照射量・強度を加味した成長曲線推定手法の確立への対応

現状の植物工場は出荷まで固定的に 45 日前後を要し生産開始後の期間調整も難しい。成長曲線推定手法を確立することで 25 日～45 日の生産調整とエネルギーコスト削減（光照射量 45%以上削減）を実現した

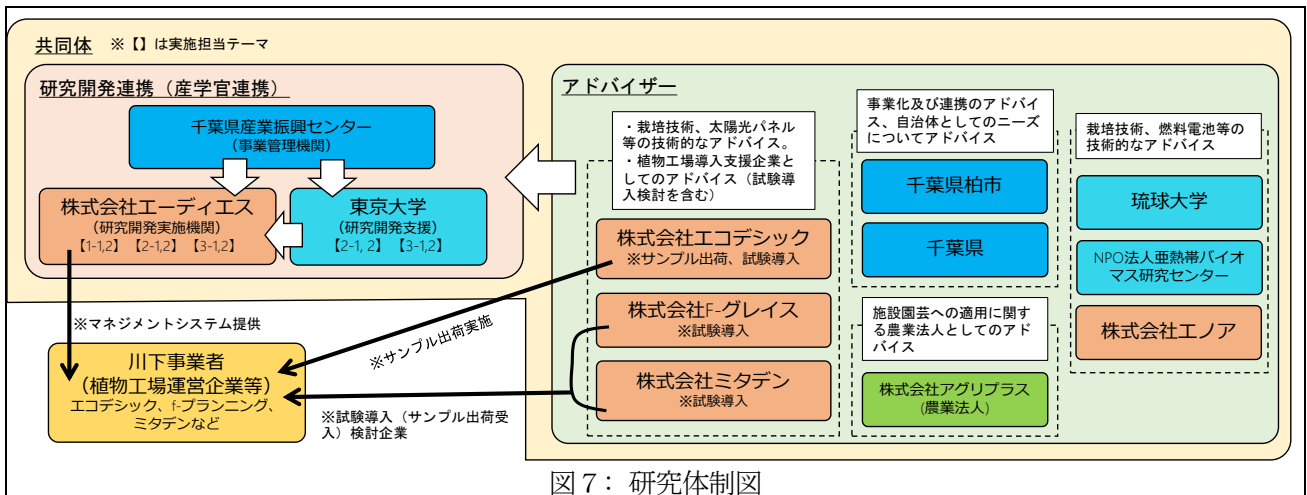
【2】 水素蓄電システムにおけるオンサイト水素生成量予測手法の確立への対応

現状の植物工場は予測したエネルギー供給可能量および蓄電量を効果的に使用する機能がないため、太陽光発電の大半が未使用であり、エネルギーの実効効率が低い。これをオンサイト水素生成量予測手法（発電量）の確立によって太陽光発電の使用率を向上させた。

【3】 オンデマンド生産を可能にするリアルタイム自動機器制御手法の確立への対応

現状では生産開始後の期間・量の調整が困難であり、需給差からの出荷率が 50～80%程度と低い（NHK「おはよう日本」2017/7/21 放送より）。テーマ【1】【2】の成果を用いて電力系機器の自動機器制御手法を確立することで、この出荷率の向上（95%以上）とエネルギーコスト削減を実現させた。

1-2 研究体制



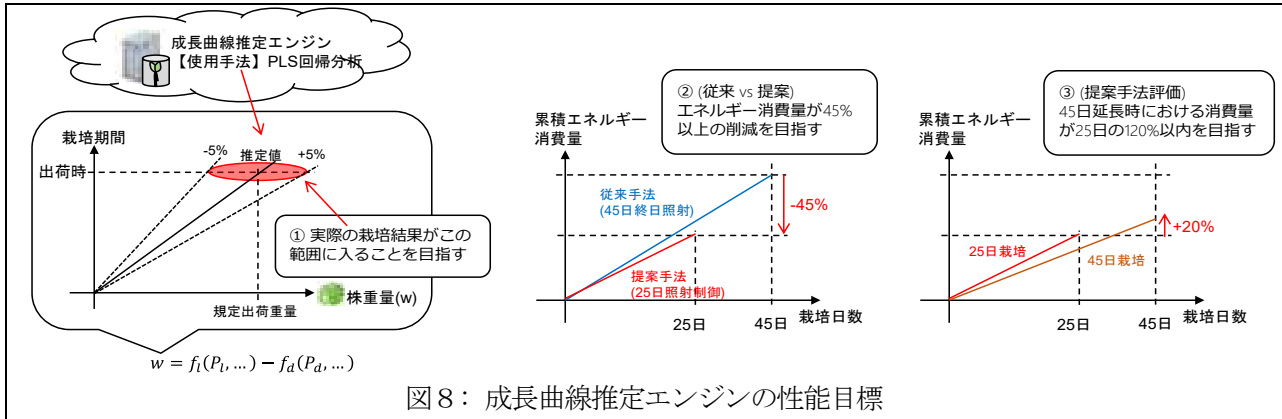
【体制及び役割分担】

	機関名・研究開発責任者	役割分担
研究開発連携体	株式会社エーディエス 代表取締役 後藤 秀樹 (PL) チーフエンジニア 池田 剛	本事業全般に関する設計・試作開発、実証実験、検証評価、販路開拓を担当する。また、総括研究代表者として研究開発の計画、実施及び研究成果管理を総括する。 担当サブテーマ：【1-1, 2】 【2-1, 2】 【3-1, 2】
	国立大学法人東京大学 先端科学技術研究センター 教授 杉山 正和 (SL)	サブリーダー(SL)はPLを補助すると共に、テーマ【1-2】 【2-1】 【3-1】の学術的な指導的役割を担う。
	千葉県産業振興センター 理事長 葉岡部 循一 調査役 新田 國浩 研究開発コーディネーター 中司 徹	事業管理機関として研究開発計画等の運営管理等や国との総合的な連絡窓口を行う。
アドバイザー	株式会社エコデシック 代表取締役社長 後藤 秀樹 チーフエンジニア 濱西 謙太郎	超促成栽培技術「アグロファクター」の技術的ノウハウの提供および生産に関する実証実験実施への助言をいただく
	株式会社ミタデン 代表取締役社長 三田 治雄	太陽光発電システム設置販売業者として、水素蓄電システムにおける太陽光発電の設置および運用に関する助言、植物工場運営に関する助言をいただく
	株式会社エノア 代表取締役 青野 文昭	燃料電池関連機器設置販売業者として、水素蓄電システムにおける太陽光発電システムの設置および運用上の技術的助言、植物工場運営に関する助言をいただく
	株式会社F-グレイス 代表取締役 池田 定夫 取締役 小西 淳	半導体製造装置販売業者として、植物工場用照明(LEDランプ)に関する助言、植物工場運営に関する助言をいただく
	国立大学法人琉球大学 学長 西田 睦 農学部 教授 川満 芳信	植物工場の栽培技術について学術的見識に基づく助言をいただく
	NPO 法人亜熱帯バイオマス研究センター 理事長 上野 正実	植物工場の栽培技術について学術的見識に基づく助言をいただく
	株式会社アグリプラス 取締役会長 染谷 茂	施設園芸による農業事業者の立場において、農業運営に関する助言をいただく
	千葉県柏市 市長 太田 和美 経済産業部商工振興課 主任 山野 真吾	事業化及び連携のアドバイスならび自治体としてのニーズについてアドバイスをいただく
	千葉県 知事 熊谷 俊人 商工労働部産業振興課 副課長 阿久津 和司	事業化及び連携のアドバイスならび自治体としてのニーズについてアドバイスをいただく

1-3 成果概要

【1】 光照射量・強度を加味した成長曲線推定手法の確立への対応

現状の植物工場は出荷まで固定的に 45 日前後を要し生産開始後の期間調整も難しい。成長曲線推定手法を確立することで 25 日～45 日の生産調整とエネルギーコスト削減（光照射量 45%以上削減）を実現した。



【1-1】 成長曲線推定のための栽培データベースの構築

成長曲線推定のために必要十分な品種 3 種、1 サイクル平均 1 ヶ月、合計 180 以上の栽培を実施し、栽培データベースを構築した。

【1-2】 栽培データベースを用いた成長曲線推定エンジンの設計・実装

サブテーマ【1-1】で蓄積した栽培データを基に誤差 10% (±5%) 以内の成長曲線を推定した (図 8 左)。それにより光照射量のコントロールが可能になり、従来の 45 日 24 時間常時照射栽培時に比べ、栽培期間比 (45%) 以上のエネルギーコストを削減させた。(図 8 中)、また、45 日に栽培期間を延長させた時は 25 日栽培の 120% 以下 (従来の 45 日栽培よりもエネルギー消費が少ない) にすることを達成した (図 8 右)。

【2】 水素蓄電システムにおけるオンサイト水素生成量予測手法の確立への対応

現状の植物工場は予測したエネルギー供給可能量および蓄電量を効果的に使用する機能がないため、太陽光発電の実効効率が低い。これをオンサイト水素生成量予測手法 (発電量) の確立によって太陽光発電の使用率を向上させた。

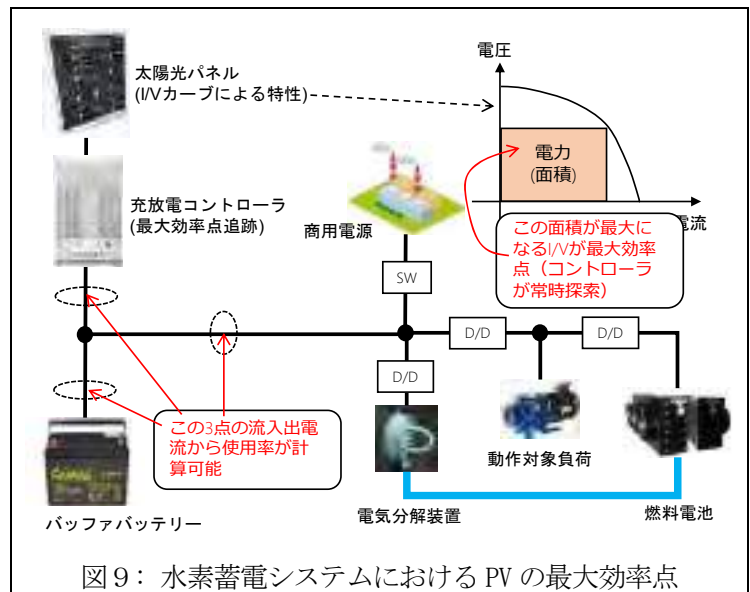
【2-1】 オンサイト水素生成量予測エンジンの設計・実装

現地の風速風向、温湿度、土壌温度、光量、空中映像、気象庁等の気象予測データからの発電量および水素生成量の予想を、翌日予測の誤差は 30%以内、当日予測の誤差は 20%以内を達成した。この目標は下記文献より決定した。

(石橋他, “太陽光発電の発電量予測技術,” 富士電機技報, Vol. 86, No. 3, (2013))

【2-2】 水素蓄電システムの構築

循環ポンプ等の断続的な負荷を適用した際に、太陽光発電の直接利用、蓄電 (水素) 使用、システムからの供給をシームレスに切り替えることにより、太陽光発電の最大効率時に未使用電力量が全体の 10% 以下を実現した (図 9)。



【3】 オンデマンド生産を可能にするリアルタイム自動機器制御手法の確立への対応

現状では生産開始後の期間・量の調整が困難であり、需給差からの出荷率が 50～80%程度と低い (NHK「おはよう日本」2017/7/21 放送より)。テーマ【1】【2】の成果を用いて電力系機器の自動機器制御手法を確立することで、この出荷率の向上 (95%以上) とエネルギーコスト削減を実現させた。

【3-1】 リアルタイム自動機器制御エンジンの設計・実装

リアルタイム自動機器制御のシミュレーションにおいて、機器自動制御の間隔を 10 分としたときに、現実的な計算機において栽培完了までの予測処理を完了し、機器制御内容を決定できることを確認した。同時に、

水素タンク蓄積量がシミュレーション全期間にわたり枯渇および満杯にならないように拘束したときに（具体的には水素タンク蓄積変動は5%~95%に制限する）、商用電源の利用率および太陽光パネルの未使用率が最小になるような太陽光発電および水素タンクの規模を決定した。

【3-2】リアルタイム自動機器制御による植物工場での実証試験

実証試験環境にて想定した受注内容に基づいた生産を実施し、出荷率95%以上（現状50~80%程度）を実現することで無駄な生産で発生するエネルギーコストが削減できることを立証した。また、テーマ【1】、テーマ【2】、サブテーマ【3-1】の技術目標を再度確認することで本技術の有効性を立証した。

以上の目標を達成することにより、エネルギーコスト削減を実現し、かつ、余剰生産によるロスを低減した持続可能な植物工場へ向けたエネルギーマネジメントシステムを実現可能とした。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

所属：株式会社エーディエス
 氏名：代表取締役 後藤 秀樹
 TEL：04-7160-2355
 E-mail：hgoto@adscorp.jp

第2章 本論

前章で述べた研究課題に対して3年間にわたり研究を推進した結果、具体的に以下の成果を得ることが出来、当初の目標を達成した。

【1】光照射量・強度を加味した成長曲線推定手法の確立への対応

【1-1】成長曲線推定のための栽培データベースの構築（令和元年・2年・3年度実施、(株)エーディエス）

播種から出荷（株切り出し）までの期間において、株重量を1日ごとに計測し、栽培状況情報と共にデータベースへ蓄積する。具体的には、栽培状況情報として1)栽培品種、2)播種時からの経過時間(h)、3)播種時からの累積照射時間（一定照射強度以上）(h)、4)播種時からの累積照射強度量(Lx・h)、5)播種時からの平均照射強度(Lx/h)などをアドバイザーであるエコデシックの支援のもと栽培データベースに記録する。栽培は平均照射強度などを変更しながら実施することで出荷日を調整する。

令和元年度は照明制御機能付きの実験用栽培環境の設計・開発・構築後、品種3種、1サイクル平均1ヶ月、合計180栽培以上の栽培を実施し、成長曲線推定のための栽培データベースを構築した（図10）。

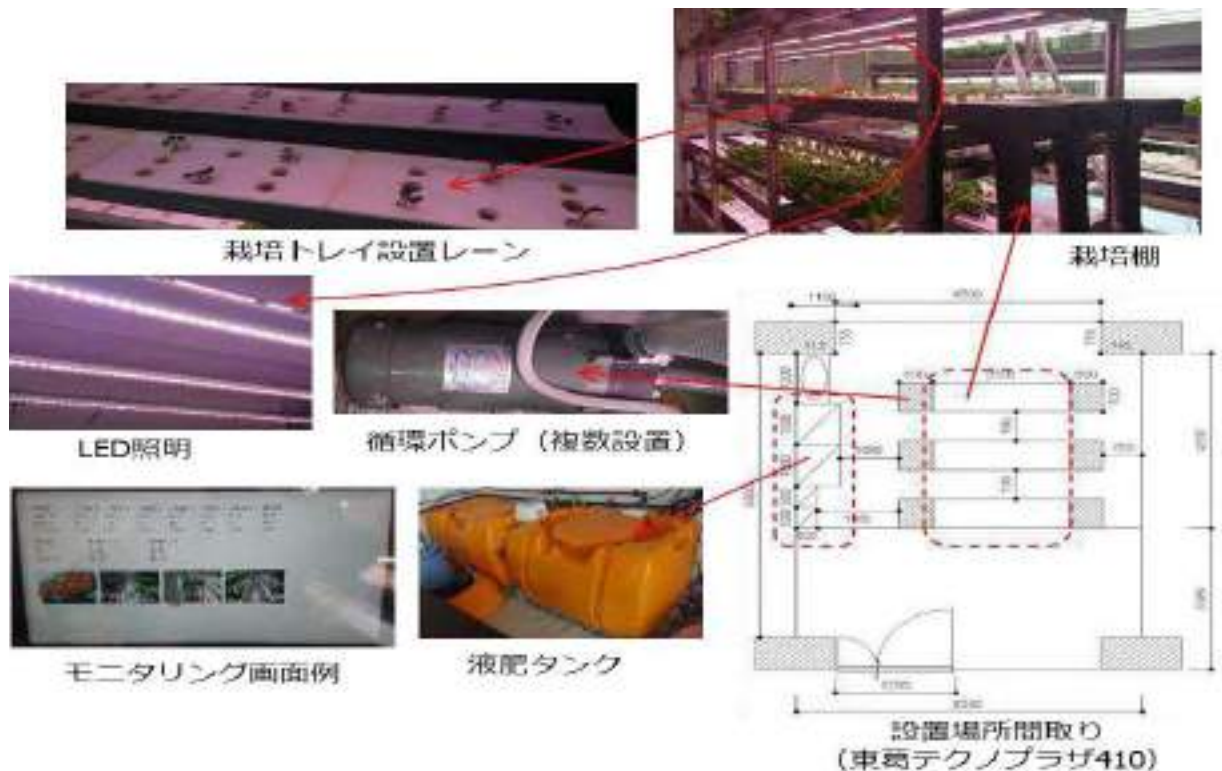


図10：照明制御機能付きの実験用栽培環境

令和2年度は誤差10% (±5%) 以内の成長曲線を推定するために追加実験を行った。それにより栽培期間比 (45%) 以上 (図1-1) のエネルギーコストを削減した。

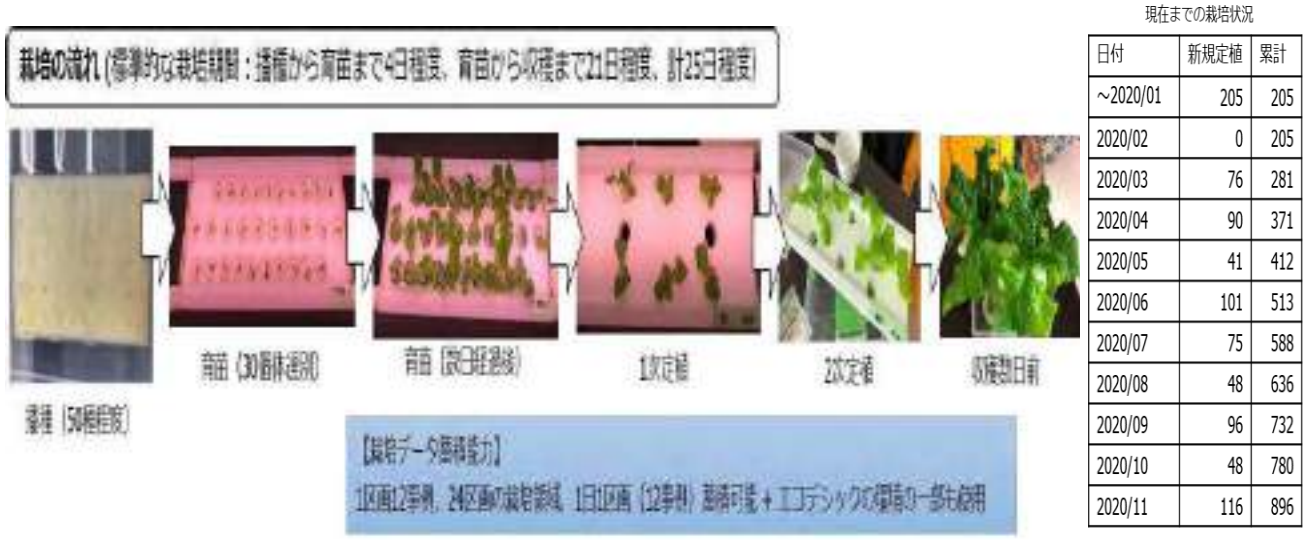


図1-1：栽培期間比の短縮結果 (45日→25日)

令和3年度は昨年度の成果を基に生産調整検討および追加実験を行い、成長曲線推定エンジンの改造のベースとなる栽培データベース (図1-2) をさらに蓄積した。

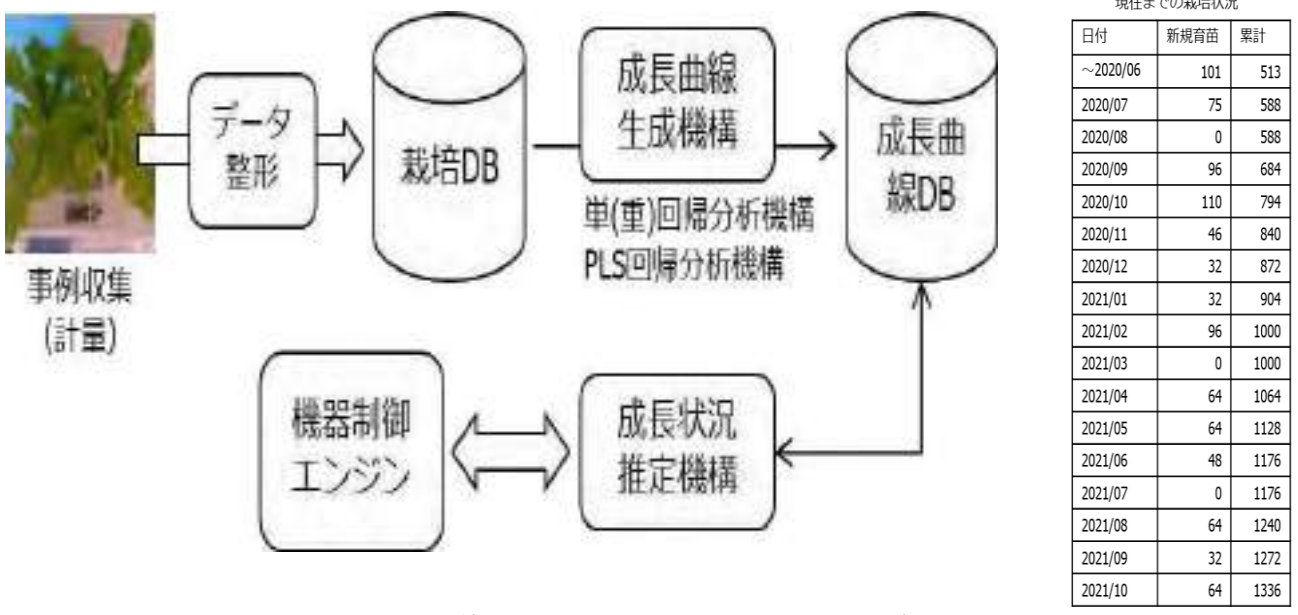


図1-2：成長曲線推定エンジンのベースとなる栽培データベース

【1-2】栽培データベースを用いた成長曲線推定エンジンの設計・実装（令和2年・3年度実施、(株)エーディエス）

サブテーマ【1-1】にて構築した栽培データベースを教師データとして成長曲線を推定する機能を、エーディエスが農場センサネットワーク事業で得た知見を元に設計・実装する。具体的には、データベースフィールドのうち栽培状況データを説明変数、株重量データを目的変数としてPLS回帰分析手法に基づいて射影行列及び誤差行列を計算する。本件にPLS回帰分析手法を適用した理由は、説明変数間に相関関係が認められる可能性があり（多重共線性）、重回帰分析等の他回帰分析手法の適用は難しいためである。各行列の学習に使用するデータは、まずは明らかな外れ値を除去して、残りを学習に使用する。学習結果の評価はクローズドデータ方式（学習したデータを用いて推定）、クロスバリテーション方式（データの一部を検証用に除外）の両方で実施する。

令和2年度：サブテーマ【1-1】にて構築した栽培データベースを教師データとして成長曲線を推定する機能を、エーディエスが農場センサネットワーク事業で得た知見を元に設計・実装した。それにより照射量のコントロールが（図13、14）可能となった。

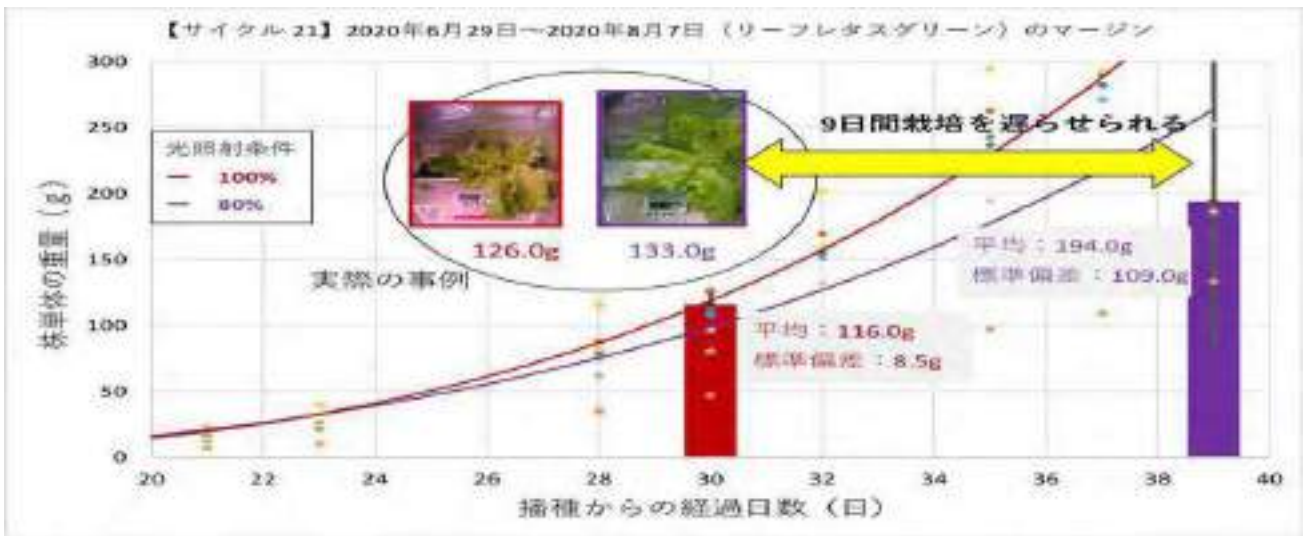


図13：照射量をコントロールした栽培例

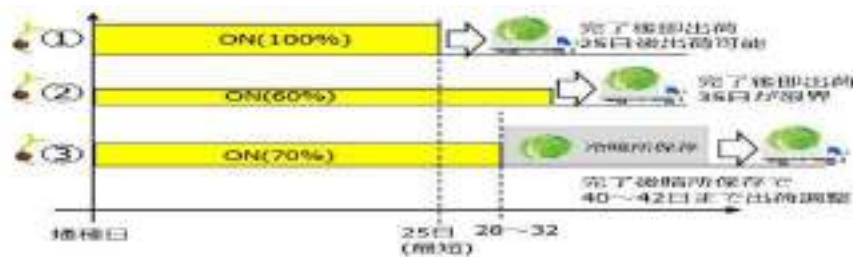


図14：照射量をコントロールした栽培結果

令和3年度はサブテーマ【1-1】にて蓄積した栽培データベースを教師データとして成長曲線推定エンジンの性能検証(図15、16、17)および改良を行い、当初の技術目標を達成した。

① 負荷利用自由度に対する仮説の検証

検証1: 「アグロファクター」では24時間連続照射しなくても促成栽培可能



【検証1の結果】

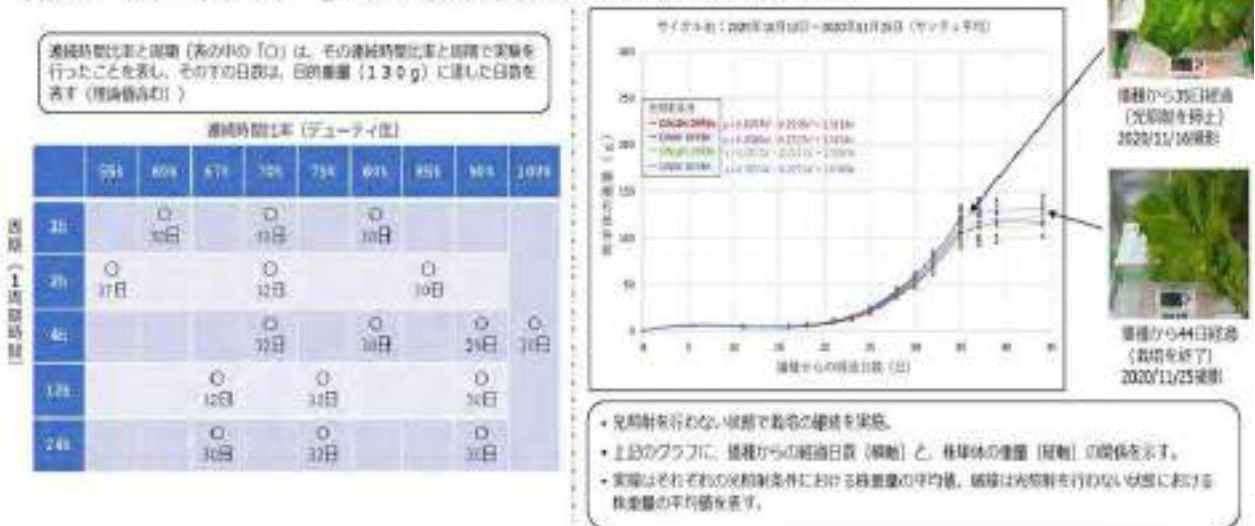
- 「アグロファクター」では、24時間の連続照射がなくても促成栽培が可能と謳っているが、これは事実である。

図15: 光照射時間変更の検証

② 負荷利用自由度に対する仮説の検証

検証2: 光照射の連続時間比率および周期はある程度自由に設定できる

検証3: 「アグロファクター」では、品質を維持したまま出荷日を変更できる



【検証2の結果】

- 実験を行った全てのケースにおいて、促成栽培が可能な事を確認
- 光照射条件に応じて、栽培完了日数(光照射停止まで)の延長が確認出来た(最大10日、現実的には5日)
- 光照射の連続時間比率および周期(いわゆるデューティ比と1周期時間)はある程度自由に設定できる

【検証3の結果】

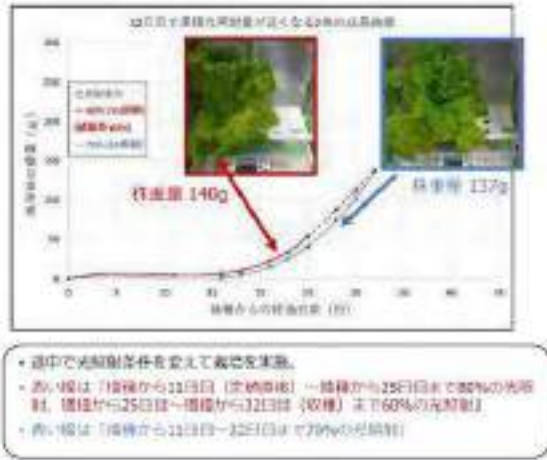
- 光照射を行わなかった(暗所保存を行った)が、栽培に大きな影響はなかった。
- アグロファクター適用において、光照射を変えることにより、品質を維持したまま出荷日を変更できる可能性があると考えているが、仮説2を含めて、これは事実である(現時点での実験において、暗所保存で最大9日間延長できることを確認)

図16: 出荷日変更の検証

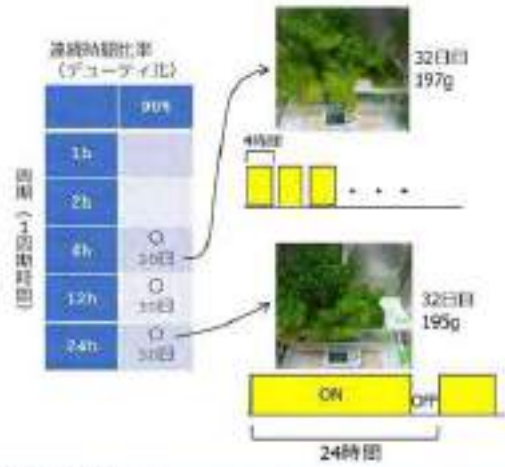
③ 負荷利用自由度に対する仮説の検証

検証4:途中で栽培条件を変更しても栽培期間調整および品質に問題は無い

検証5:光照射時間帯を自由に設定できる範囲



- 途中で光照射条件を変えて栽培を実施。
- 濃い緑は「収穫から11日目（定植直後）～収穫から25日目まで80%の光照射。薄緑は「25日目～収穫から32日目（収穫）まで60%の光照射」。
- 薄い緑は「収穫から11日目～32日目まで70%の光照射」。



- 【検証4の結果】
- 栽培途中で光照射条件を変更しても、累積照射量が近ければ株量も近い。（累積照射量を変えることにより、栽培期間調整ができる）
- 品質に問題なし。
- 【検証5の結果】
- 周長が大きく異なっても、連続時間比率（デューティ比）が同じならば、重量の差は小さい。
- 光照射時間帯は比較的自由に設定できる（1時間～24時間）

図17：光照射時間変更による品質保証の検証

【2】 水素蓄電システムにおけるオンサイト水素生成量予測手法の確立への対応

【2-1】 オンサイト水素生成量予測エンジンの設計・実装（令和元年・2年・3年度実施、(株)エーディエス、東京大学）

オンサイト水素生成量予測エンジンについては太陽光パネルによる発電量の予測と水素生成（発電量）を行う水分解セルの能力から水素生成量を予測できるようにする。また、発電量予測についてはオンサイトで取得可能なデータを可能な限り使用し、東京大学と連携して設計・実装する。

令和元年度は東京大学と連携し、オンサイト気象情報を蓄積するために計測機構（図18）の設計・実装・構築した。加えて、オンサイト水素生成量予測エンジンの設計（図19）を完了した。

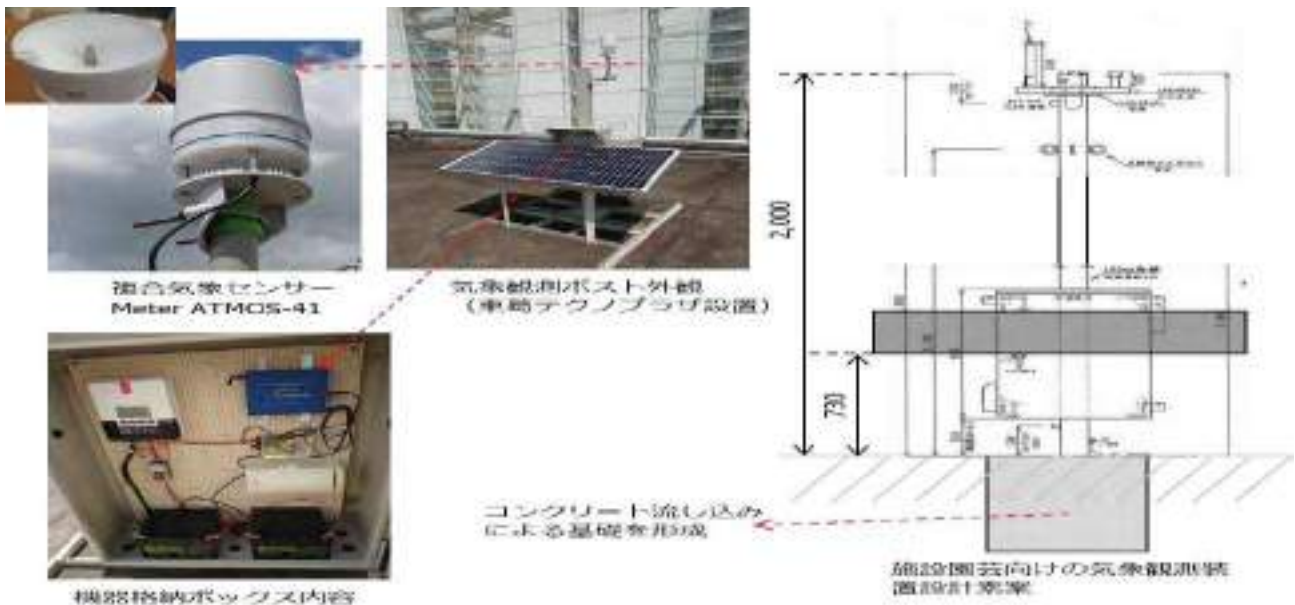


図18：オンサイト気象情報を蓄積するための計測機構

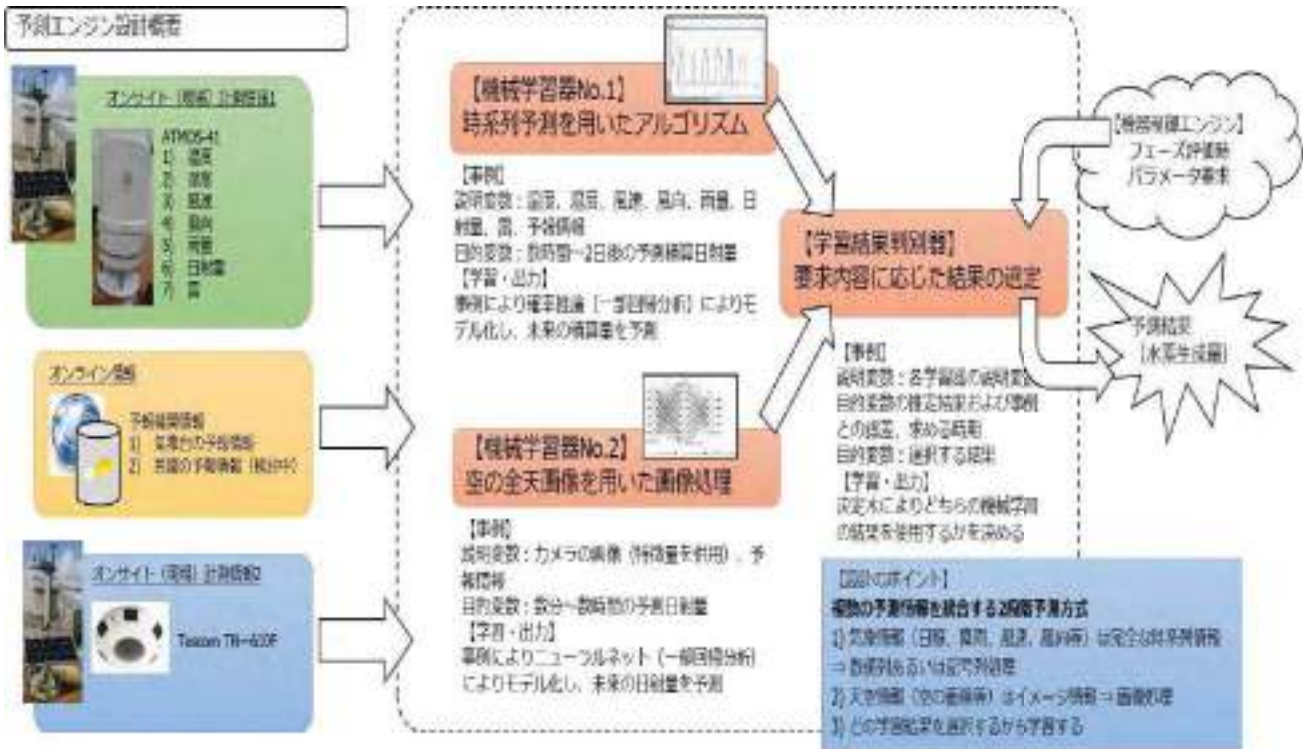


図 19：オンサイト水素生成量予測エンジンの設計イメージ

令和2年度は東京大学と連携し、昨年度の成果に加えて施設園芸等の営農情報を収集する機構(図20)の設計・実装・構築をした。また、オンサイト水素生成量予測エンジンの実装をし、動作検証(図21)を行った。



図 20：施設園芸等の営農情報を収集する機構

日照積算量のシミュレーション実験の結果

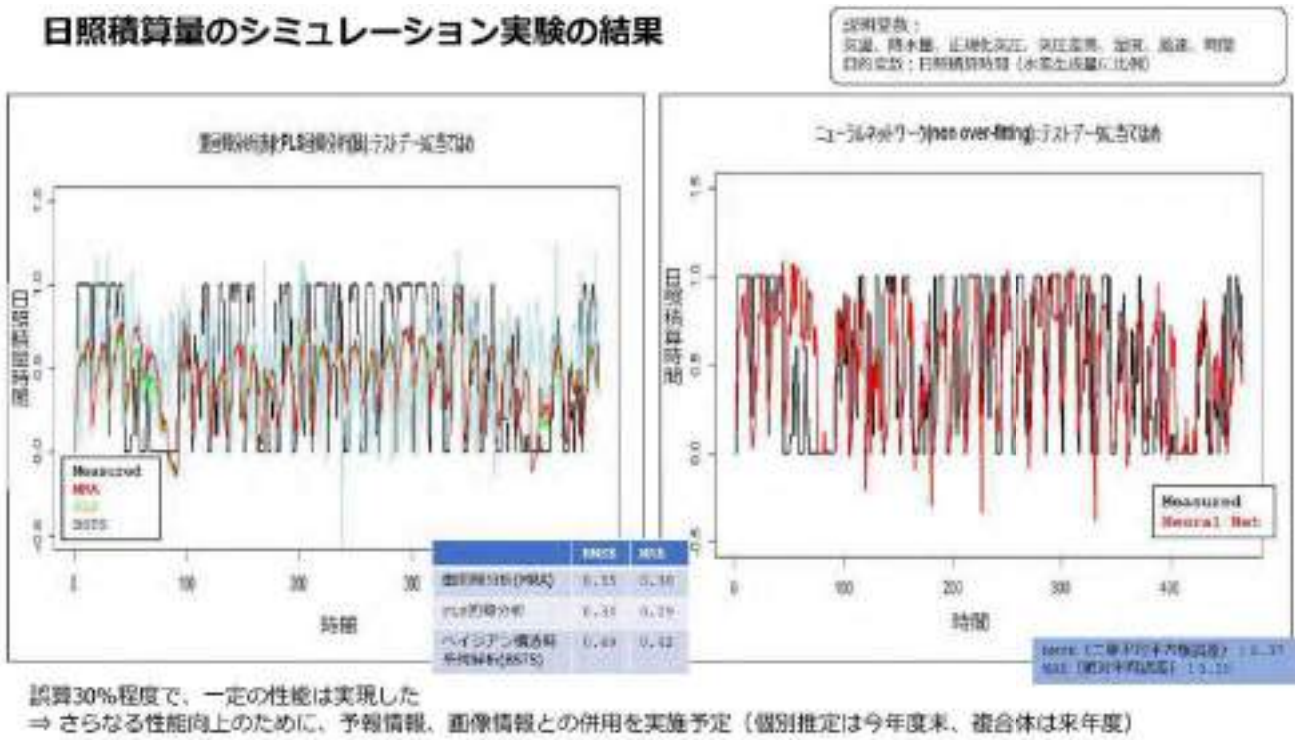


図 2 1：オンサイト水素生成量予測エンジンの実験結果

令和3年度は昨年度の成果を基に営農情報を収集する拠点を増やし、オンサイト水素生成量予測エンジンの長期稼働による調整および改良（図22、23）を行った。

①水素生成量予測手法の改良 - 確率推論を用いた手法

- 水素生成量予測までのステップ
 - 日照量 ⇒ PV発電電力 ⇒ 水素酸素生成
- 日照量予測の難しさ
 - 気象予報とほぼ同義 ⇒ オンサイト情報だけの予測には限界
 - 気象庁と同程度の予測精度を出すためには、気象庁と同程度の設備や理論が必要
- 気象庁（等の気象予報業務機関）の予報情報を積極的に利用できないか？
 - 気象庁からの「公式」公開情報を活用
 - オンサイト計測情報を併用して予測を局所化
 - 予報情報は地方単位で公表するため
 - 日照や降雨事実は地形等の依存性が高い
- 予報情報とオンサイト計測情報の結合による**確率推論（ベイズ推定）**を用いた予測手法の提案
 - $P(H_i|D) = \frac{P(D|H_i)P(H_i)}{P(D)} \Rightarrow \text{Argmax}_{1 \leq i \leq n} (P(D|H_i)P(H_i))$
 - H_i : 予測日照量、 D : 予報・観測情報（ベクトル）
 - $P(D|H_i)$: 日照量が区分であったときに、予報計測情報が D であった確率（尤度）
 - $P(H_i)$: H_i の独立存在確率（事前確率）

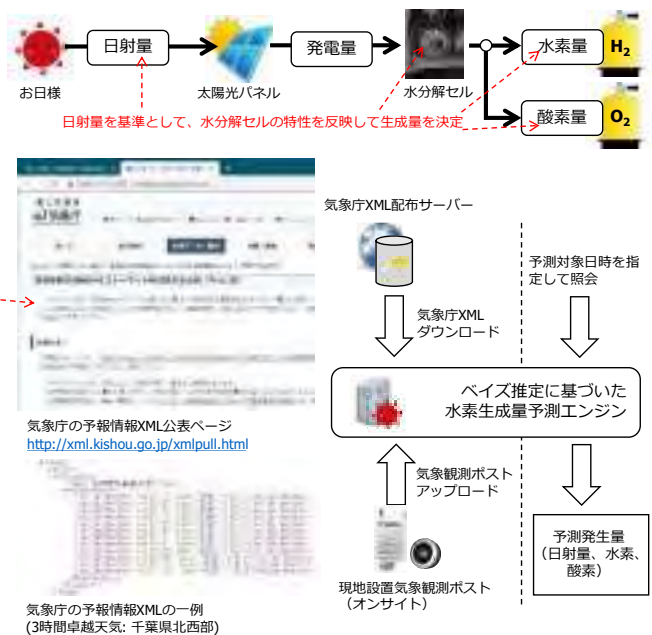


図 2 2：水素生成量予測手法の改良

②シミュレーション一例（2019年のデータを用いて2020年を推定）

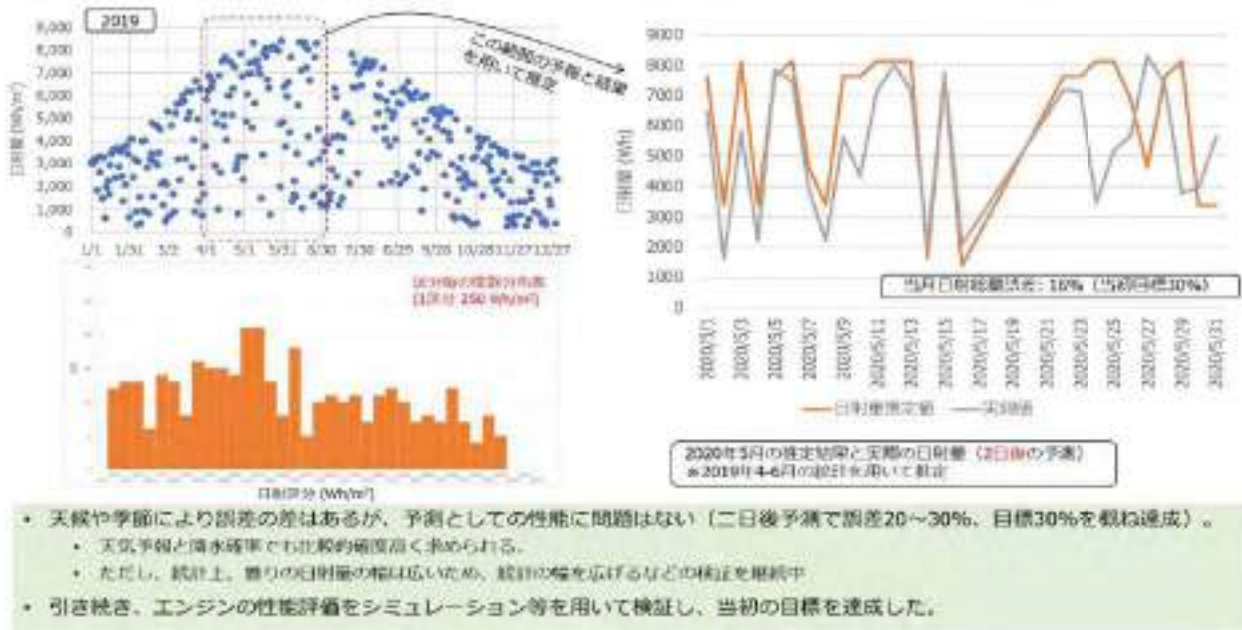


図 2 3 : 改良後のシミュレーション結果

【2-2】水素蓄電システムの構築（令和元年・2年・3年度実施、(株)エーディエス、東京大学）

サブテーマ【2-1】およびテーマ【3】の検証のため、太陽光パネルを含む水素蓄電システムを東京大学と連携して構築し、長期的な実証実験を行い、機能の妥当性の検証を行う。

令和2年度は太陽光発電の使用効率を向上させるために太陽光発電の直接利用、蓄電（水素）使用、システムからの供給をシームレスに切り替える機能（図2 4）を東京大学と連携して設計・実装し、動作検証を行った。

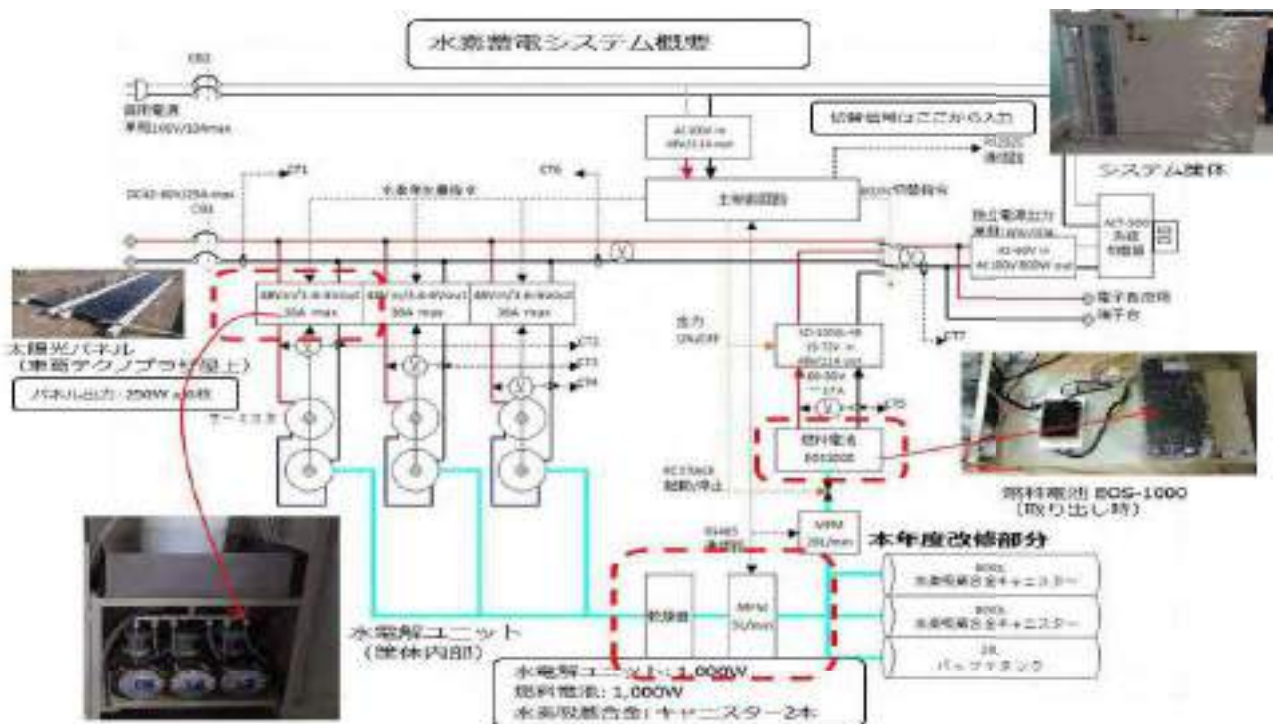
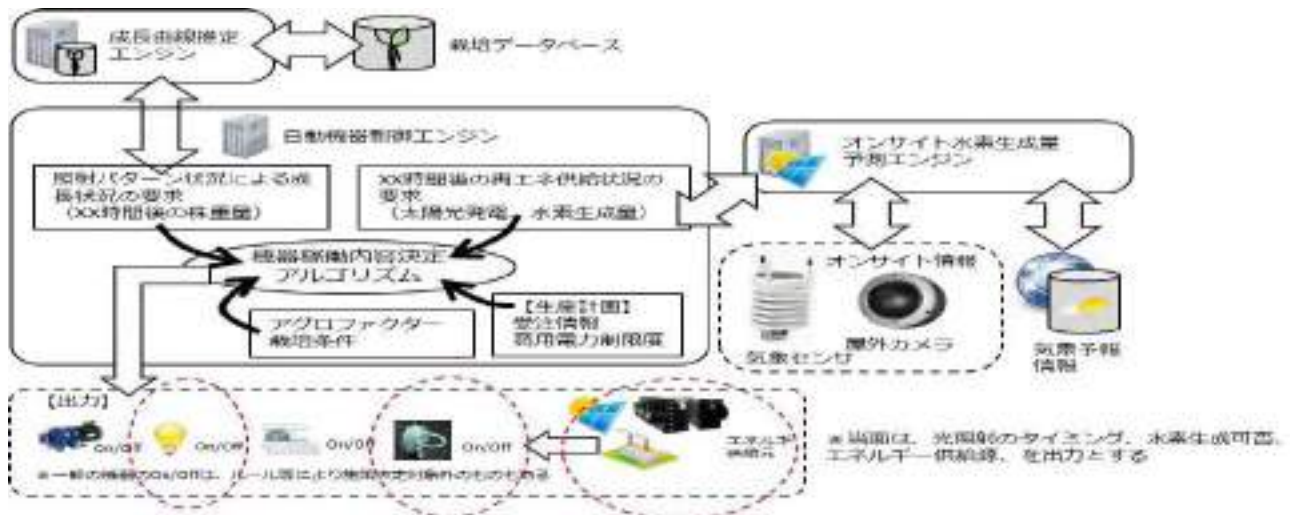


図 2 4 : 太陽光発電の直接利用、蓄電（水素）使用、システムからの供給をシームレスに切り替える機能



【制御エンジン基本コンセプト】

- 最適化問題ではなく、最善手探索問題に帰着 ⇒ ゲーム木探索を適用
- プレイヤー二人による「完備情報ゲーム」に近いような思考ゲームを構成（完全情報にはならない）
- 各プレイヤーは、自分の評価が高くなり、相手の評価が低くなるような施策（機器の制御）を選択
 - 相手も立場は同じなので、自己対戦ならば、結果として、ルールを守りつつ、中立的な結果を導くことが期待
- ただし、勝敗はつけず、エンドレスに続く（が、優劣はつける）

図 2 6 : リアルタイム自動機器制御エンジンの設計イメージ

令和 2 年度は東京大学と連携し、オンデマンド生産を可能にするために植物工場内の各機器（照明、空調等負荷となる機器の他、水素生成、系統利用切替も含む）のリアルタイム自動機器制御エンジンの実装を行い、動作検証（図 2 7）を行った。加えて、商用電源の利用率および太陽光パネルの未使用率が最小になるような太陽光発電および水素タンクの規模を決定した。

自動機器制御エンジンの実装詳細と動作検証

• 受注情報

- 希望出荷日、希望出荷量、許容誤差（増減比率）、許容誤差
- 出荷価格は栽培日数等をもとに決定（導入実務等）

• 栽培の標準ライフサイクル

- フェーズ1: 播種 ⇒ Day 0-3
- フェーズ2: 育苗(30株) ⇒ Day 4-10
- フェーズ3: 定植(6株) ⇒ Day 11-XX-3
- フェーズ4: 出荷(2株) ⇒ Day XX-YY: 栽培完了
- フェーズ5: 出荷待機 ⇒ Day YY-ZZ 出荷 (追加)
- 次フェーズへの移行時には、必ず人手（もしくは担当の機械）が入る
- 自動機304部はフェーズ4を対象

• 最善自動機器制御「ゲーム」におけるプレイヤー

- プレイヤーとは10分毎交互に各区域の植物のOoE/OC、水素生成、電力を自由でできる者とする
- プレイヤーの評価は、再エネを最大限に使用できるほど高い ⇒ 系統電力をなるべく使わない
- プレイヤーは「ルール」を守る必要がある
- ⇒ プレイヤーの行動結果によって、太陽光パネルと水素タンク等の規模も決定可能

• 最善自動機器制御ゲームの基本ルール

- 1) 各プレイヤーには、ライフサイクルのフェーズ4における栽培完了日および必要光照射量（以下、アチーブメント）が強制設定されている。
- 2) 各プレイヤーは、自分のアチーブメントを達成することが必要、アチーブメントを放棄することは出来ない
- 3) 各プレイヤーは、相手のアチーブメントの達成を妨げることは出来ない（相手のプレイヤーがとった行動によって、相手のアチーブメントの達成が不可能となる行為は違反（不利）することは可能）

協調的な動作を求められるが、優劣はきちんとつけるゲーム

フェーズ1: 播種 (Day 0-3)

- 播種から3日程度は専用トレイに配置
- 光照射は常時(100%)
- 播種費用に配慮（保水性を高めるため）

フェーズ2: 育苗 (30株) (Day 4-10)

- 光照射は常時(100%)を継続

フェーズ3: 育苗 (6株) (Day 11-X)

- 光照射は固定比率
- 照射日数は品種によって異なる
- 受注情報はフェーズ3終了までに確定

フェーズ4: 育苗 (2株) (Day X-Y)

- 光照射は受注情報および成長曲線から決定
- 照射日数に、成長曲線に示された光照射量を満たすように機器を自動制御
- 最善自動制御は、必ずしも栽培が完了し、かつ、お盆エネルギー使用を減らすように動作

フェーズ5: 出荷待機 (Day Y-Z)

- 冷却所保管（其他ポット移動）
- 受注によってはフェーズ5として出荷
- 本年後の主要な設計変更箇所

図 2 7 : 実装と動作検証結果

令和3年度は東京大学と連携し、リアルタイム自動機器制御エンジンの検証および改良（図28、29、30）を行った。

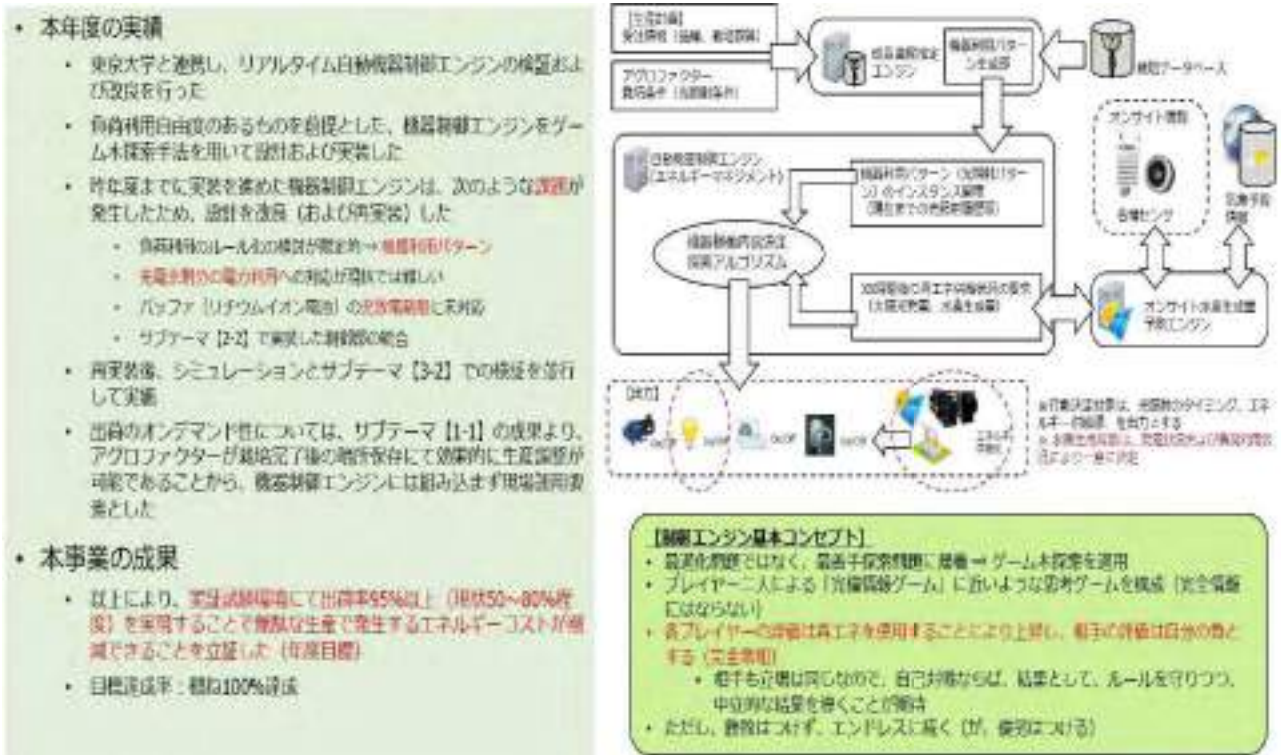


図28：改良と検証概要

①商用可能なシステムに向けた検討ポイント

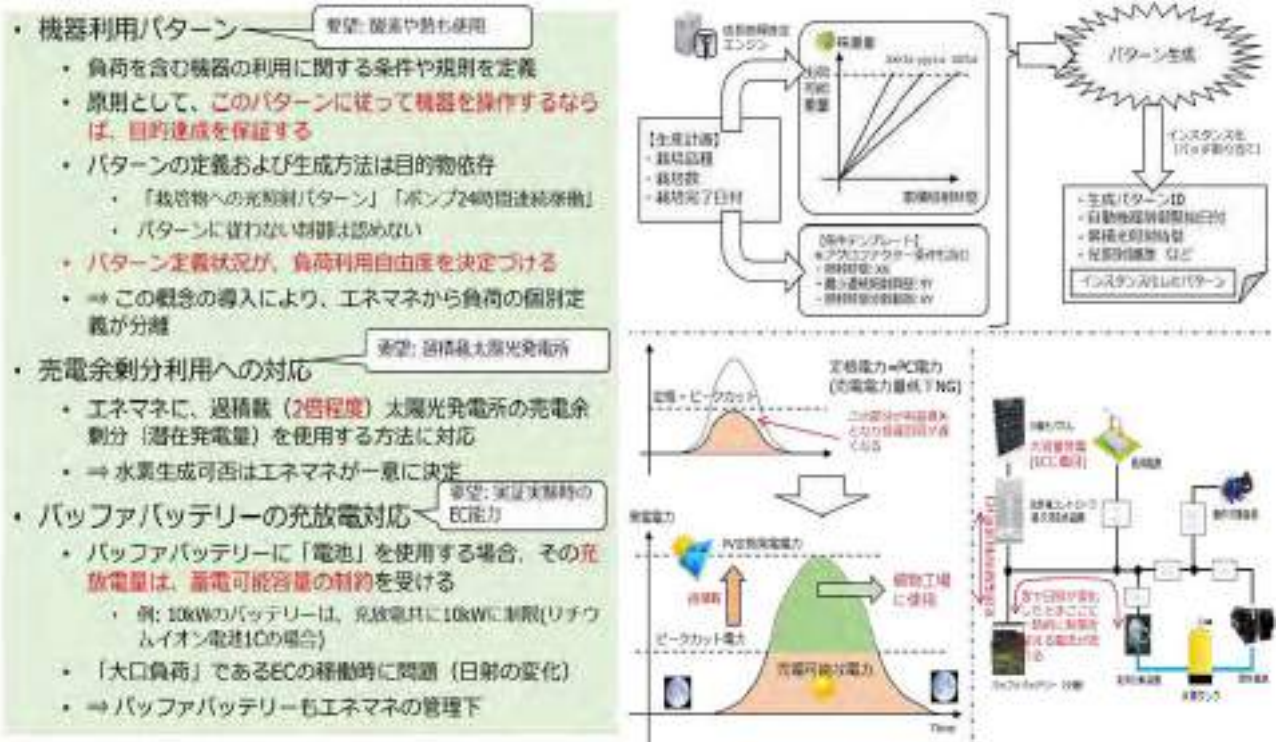
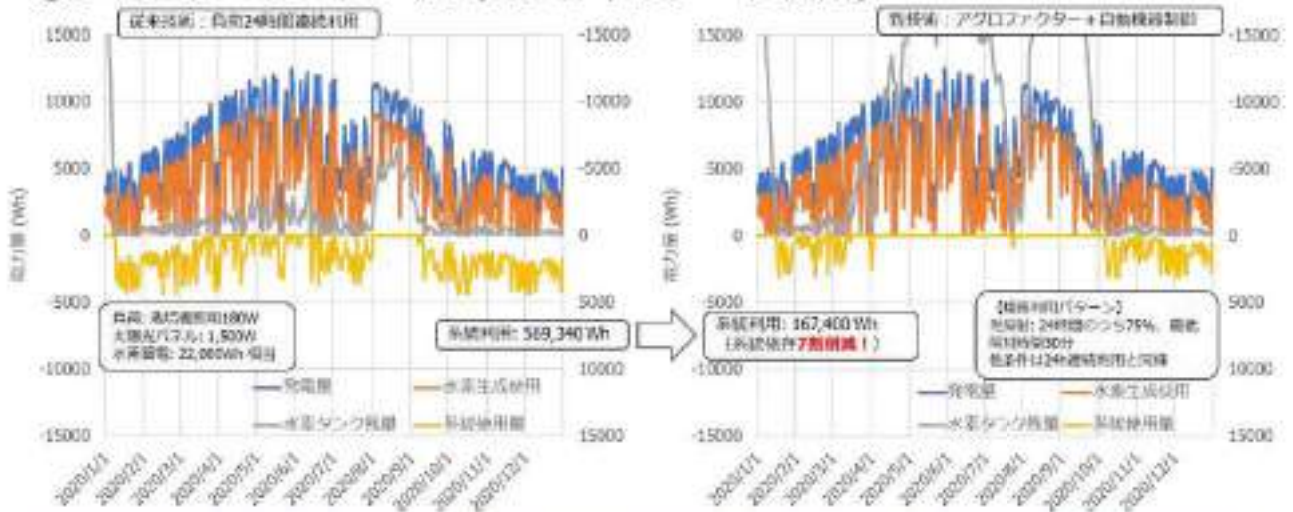


図29：商用可能なシステムに向けた検討ポイント

②シミュレーション一例（2020年のデータ使用）



- 従来の方法（24時間負荷連続使用）では、水素タンクの枯渇が多く発生しているが、アグロファクターを用いることにより、自由な時間に光照射が可能となり、太陽パネルの直接利用が可能となる時間が増え、系統（商用電力）の利用量が大幅に減少
- 引き続き、エンジンの性能評価をシミュレーション等を用いて検証した

21

図30：改良後のシミュレーション結果

【3-2】リアルタイム自動機器制御による植物工場での実証試験（令和2年・3年度実施、(株)エーディエス、東京大学）

テーマ【1】、テーマ【2】、サブテーマ【3-1】の成果を基にアドバイザーであるエコデシックの協力のもと、東京大学と連携して実証試験環境（図31）を構築し、実際の植物工場にて実証試験することにより、本システムの有効性を証明する。

令和2年度はテーマ【1】、テーマ【2】、サブテーマ【3-1】の成果を基にアドバイザーであるエコデシックの協力のもと、東京大学と連携して実証試験環境を構築した。

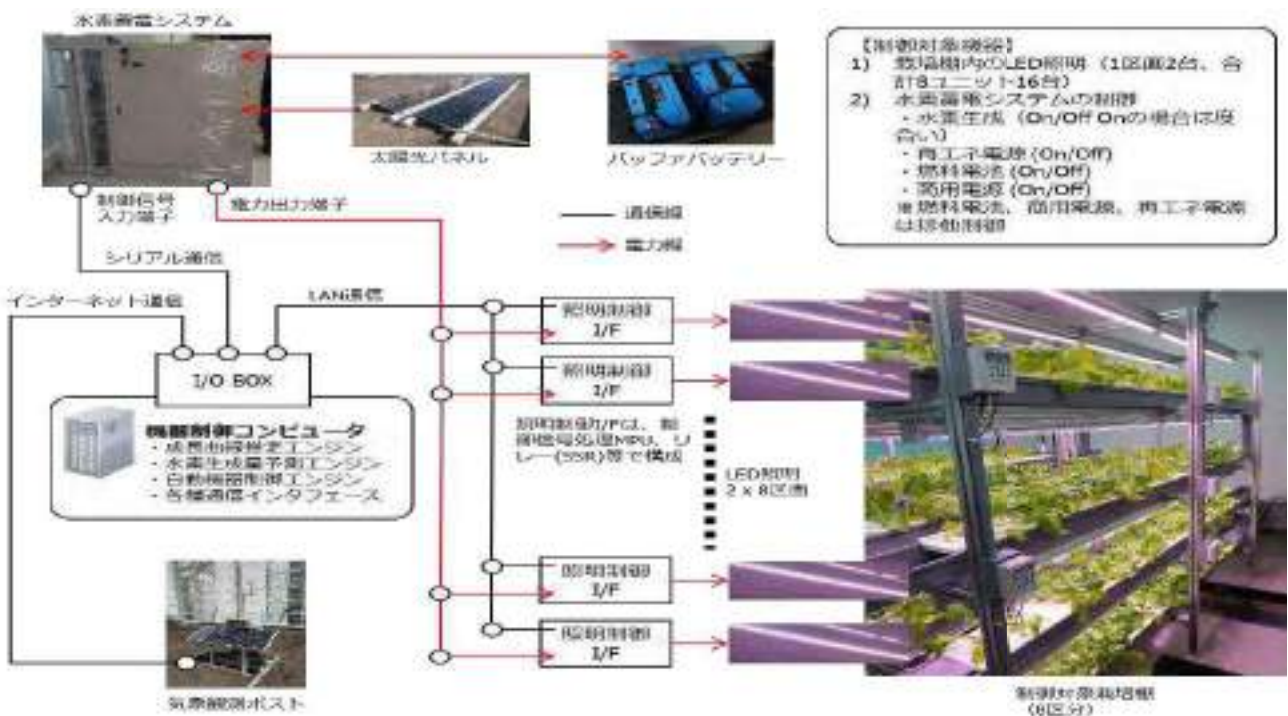


図31：リアルタイム自動機器制御による植物工場での実証試験環境

令和3年度：エーディエスは東京大学と連携し、実装試験の長期実施および評価を行い、当初の技術目標を達成した。

・ 本年度の実績

- ・ 東京大学と連携し、実装試験の長期実施および評価を行い、当初の技術目標を達成した
- ・ 初年度導入した栽培棚3台のうち、一台を自動制御用に改修
 - ・ 照明: 15W x 12本 = 180W
 - ・ 昼間は最大1,000W程度の電力を水素生成に使用可能
- ・ テーマ【1】成果を用いて、成長曲線推定エンジンを組み込んだ。また、出荷率については、栽培完了後の暗所保存で達成した。
- ・ サブテーマ【2-1】の成果を用いて、気象センサーおよび予報情報を用いた水素生成量予測エンジンを組み込んだ。
- ・ サブテーマ【2-2】の改修完了により、11月より部分的に稼働を開始し、12月より継続的な栽培実験を実施した。
- ・ サブテーマ【3-1】の成果を用いて、エネルギーマネジメントシステムを統合した自動機器制御エンジンを組み込んだ。
- ・ コロナ禍の影響や、機材製作遅延などにより進捗は遅れていたが、実証実験の機器準備を完了し、栽培実験継続中。

・ 本事業の成果

- ・ 以上により、テーマ【1】、テーマ【2】、サブテーマ【3-1】の技術目標を再度確認し本技術の有効性を立証した（年度目標）。
- ・ 目標達成率：概ね100%達成

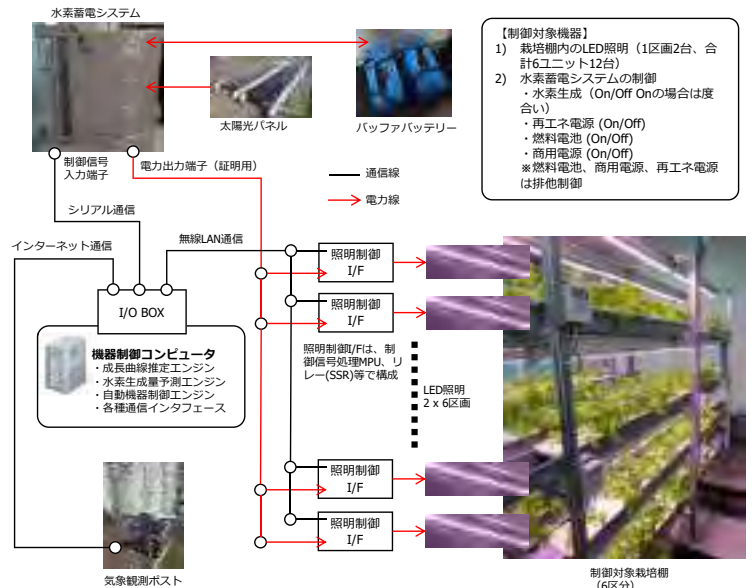


図32：実装試験の長期実施および評価

最終章 全体総括

本プロジェクトの推進にあたっては、以下のプロジェクトメンバーの協力体制により、無事、研究開発を完了し、目標通りの成果を達成することができた。

令和元年度より3年間にわたり、国立大学法人東京大学との産学連携により学術的な技術支援を頂いた。また、アドバイザーのエコデシック、ミタデン、F-グレイス、エノア、国立大学法人琉球大学などの技術支援によりIoT技術を活用した農業の効率化および高効率エネルギーマネジメントシステムの開発をすることができた。また、最後にリアルタイム自動機器制御による植物工場での実証実験を通して本技術の有効性を立証した。

3-1 複数年の研究開発成果

【1】 光照射量・強度を加味した成長曲線推定手法の確立への対応

現状の植物工場は出荷まで固定的に45日前後を要し生産開始後の期間調整も難しい。成長曲線推定手法を確立することで25日～45日の生産調整とエネルギーコスト削減（光照射量45%以上削減）を実現した。

【2】 水素蓄電システムにおけるオンサイト水素生成量予測手法の確立への対応

現状の植物工場は予測したエネルギー供給可能量および蓄電量を効果的に使用する機能がないため、太陽光発電の大半が未使用であり、エネルギーの実効効率が低い。これをオンサイト水素生成量予測手法（発電量）の確立によって太陽光発電の使用率を向上させた。

【3】 オンデマンド生産を可能にするリアルタイム自動機器制御手法の確立への対応

現状では生産開始後の期間・量の調整が困難であり、需給差からの出荷率が50～80%程度と低い（NHK「おはよう日本」2017/7/21放送より）。テーマ【1】【2】の成果を用いて電力系機器の自動機器制御手法を確立することで、この出荷率の向上（95%以上）とエネルギーコスト削減を実現させた。

以上の結果により、本研究にて開発した「IoT技術を活用した農業の効率化および高効率エネルギーマネジメントシステムの開発」技術の有効性が立証され、それを基に、エネルギー効率と栽培効率を極大化するマネジメント技術が確立され、効率の高い農業の実現に寄与できることが実証できた。

3-2 アドバイザーによる講評

- ・東大先端研では、AI 技術などを活用して、今まで疎だった気象台の気象観測情報を補完により細かいメッシュデータを形成する取り組みを進めている。今後これを活用できないかを検討して欲しい。
- ・このような再生エネシステムが日本から発信できることを期待している。中国では、すでに国策で再エネ関連部材を開発可能で、このままでは中国に押されてしまうため、私たちも頑張っていければと思う。
- ・植物工場の光照射削減の効果は、電力削減だけではない様々な波及効果があると思われる。
- ・CO2 削減や温暖化防止の観点から、再エネの活用は今後必須となるので今後ともより一層の考究に努めて欲しい。
- ・現在、農業従事者の高齢化が進んでおり、今回のような革新的に技術を使うことで、若い人にも興味を持って頂けるようになることを期待している。そのためにも農業においても、気象情報は重要であるので、設置した気象観測システムを今後も活かしていければと思う。
- ・弊社が元請けになり鹿児島県立鹿屋農業高校にアグロファクターベースの植物工場実験施設を導入することになっている。九州沖縄地方において、高校に教育施設としては初の導入であり、教育関係者からの注目が集まっている。今回の知見も活かせれば幸いである。
- ・弊社も太陽光発電事業を行っているので、再エネによる蓄電には注目していて、それがようやく形になるので大変期待している。
- ・弊社もアブダビで植物工場の運営を行っていて、特に最近のコロナ禍で引合いが多くあり、本技術の期待が大きい。
- ・千葉県では炭酸ガス削減などの施策を今年から開始しており、それに関連して水素蓄電システムに注目しているが、これに取り組んでいる県内企業はエーディエスしかないので、今後連携して行きたい。

3-3 研究開発後の課題

- ・事業を推進するための課題
 - 再生可能エネルギー発電能力、水電解装置、水素タンクのバランス
 - 実用設備として最大負荷 16kW の「壱岐実証システム」を用いて継続検討（～2023 年 3 月）
- ・農業用エネルギーシステムとしての実用化
 - 過積載太陽光パネル廃棄電力の利用システム開発（～2024 年 3 月）
 - いわき市等への提案準備中
 - 売電分以外に廃棄している電力を集めて水素貯蔵・発電
 - 一次産業（農業など）に電力、温水（施設園芸の空調）、酸素（液肥中溶存酸素増）を利用
 - 営農支援型太陽光パネルでの高付加価値栽培技術・栽培施設の開発（～2024 年 3 月）
 - 全国数か所で問い合わせ、クボタからも打診
 - 廃棄分電力の農業利用
 - 低照度下での付加価値の高い野菜（ハーブ、薬草）の栽培
 - ・再生可能エネルギー100%の植物工場（今回開発技術の直接応用）
 - 離島を中心に提案
 - ・避難設備、介護設備等における常時利用電源（温水供給、酸素供給含む）
 - 全国の自治体等に提案

3-4 事業化展開について

補助事業の成果に係る事業化展開について、国立大学法人東京大学は、補助事業終了後においても、株式会社エーディエスへ引き続き技術支援を行う。

事業化展開については、以下のように計画している。

【研究開発成果に係る製品等】

本研究開発成果のシステム全体概要図を図33に、成果を用いた提供予定の対象製品を表3に示す

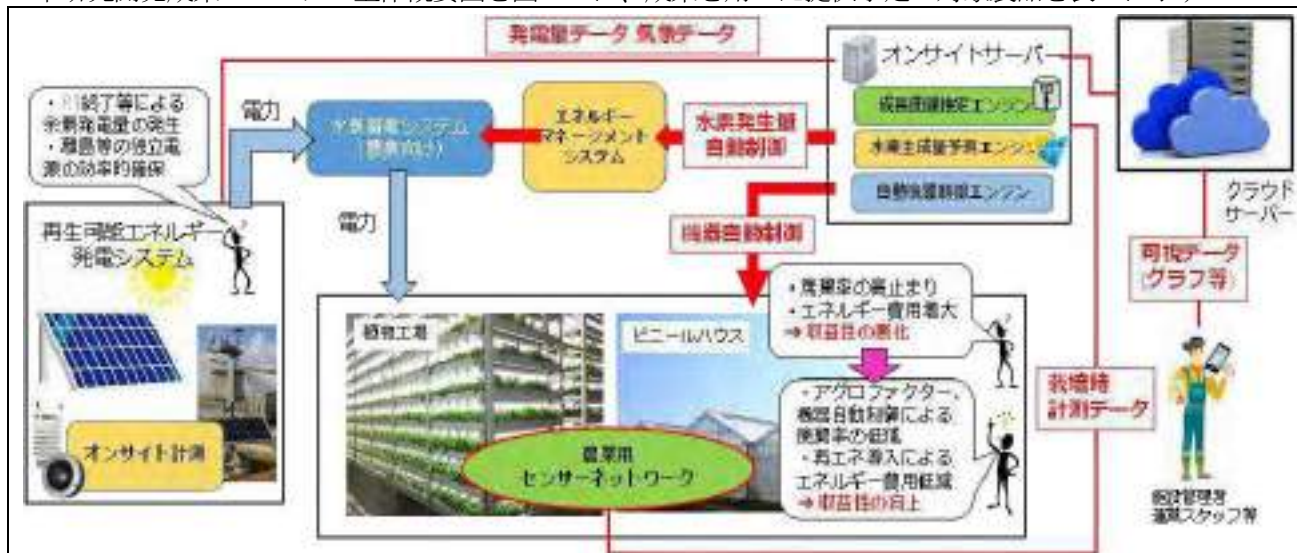


図33： 本研究成果のシステム全体概要図

表3： 主な対象製品の概要

製品名称	製品等の概要（用途、特徴等）
<p>(1) 栽培マネジメントシステム</p> <p>【使用成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> 成長曲線推定エンジン 自動機器制御エンジン <p>【対象栽培品種】</p> <p>レタス類、ほうれん草、小松菜、からし菜、ミニトマト、イチゴ、キュウリなど</p>	<p>用途</p> <p>植物工場およびハウス栽培における野菜生産（レタス類、その他）</p> <p>特徴</p> <ol style="list-style-type: none"> 需要情報、気象情報等を元に最適生産を行い、最も利益性が高くなる。 栽培した野菜廃棄損最小化が可能。 <p>製品の形態</p> <p>以下の製品から構成される。</p> <ul style="list-style-type: none"> 栽培データを収集送信するセンサネットワークサービス サーバで栽培条件を決定するサービス 植物工場やハウスでクラウドサーバ（もしくはローカルサーバ）からの指示に従い各機材を自動制御するサービス 栽培状況を可視化して配信するサービス
<p>(2) エネルギーマネージメントシステム</p> <p>【使用成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> 水素生成量予測エンジン 自動機器制御エンジン 	<p>用途</p> <p>再生可能エネルギーを利用した植物工場、ハウス栽培 既存、再生可能エネルギーの有効活用 再生可能エネルギーを利用した避難所・住宅・小規模事業者事業所</p> <p>特徴</p> <p>商用電源、再生可能エネルギー、水素蓄電池の自動コントロールによるエネルギーコストを最小化</p> <p>製品の形態</p> <p>以下の製品から構成される</p> <ul style="list-style-type: none"> 発電量および現地気象情報を収集・送信するセンサネットワークサービス AIを用いてサーバで最適な水素貯蔵量を決定するサービス 電力使用決定条件に基づく各機器を自動制御するサービス エネルギー利用状況を可視化して配信するサービス
<p>(3) 統合的栽培マネジメントシステム</p> <p>【使用成果】</p> <ul style="list-style-type: none"> 成長曲線推定エンジン 水素生成予測エンジン 自動機器制御エンジン 	<p>用途</p> <p>再生可能エネルギーを利用した植物工場、ハウス栽培</p> <p>特徴</p> <p>再生可能エネルギー最大活用と栽培コスト最小</p> <p>製品の形態</p> <p>(1)(2)で述べたような、サービスの組み合わせ</p>
<p>本事業に係る特許権</p>	<p>栽培手法に関しては以下の出願済み特許がある。（詳細本文参照） 特許番号：特願 2017-203684 発明の名称：水根栽培装置および方法 出願人：株式会社エコデシック</p>

【期待される効果】

(1) 栽培マネジメントシステムの効果

植物工場で問題となっている栽培コストの削減の有効な手段の一つが市場ニーズに応じ、廃棄ロスをなくするというものである。従来は栽培期間が長いことから計画生産が困難であり、また従来の方法ではそれ以上に栽培期間を長くするとさらにコストが上がり、廃棄が増加した。それに対して本システムの実現で、市場から要求される翌月の野菜利用計画に従い、計画栽培を行うことが出来、しかも大きな栽培コストの上昇無しに廃棄損を無くすることが出来るために、収益性のある植物工場の実現に大きく寄与する。

(2) エネルギーマネジメントシステムの効果

再生可能エネルギーを利用するためにはエネルギー貯蔵法を含めた安価で高効率なエネルギーマネジメントが必須となってきている。本システムはそれを可能とすると同時に、CO2 排出フリーの水素製造設備も可能とするもので、買取がなくなった場合の発電システムの活用を含め、多様なニーズに対して、省エネルギーでかつ CO2 排出削減に寄与することができる。図 3 4 は一般家庭におけるエネルギーマネジメントシステムの効果を、実測の太陽光パネルによる発電を水素蓄電に当てはめた結果であり、マネジメントシステム導入により、黄色の部分のエネルギーの大半の有効活用が期待できる。これにより今後買取が難しくなった太陽光発電施設が、安定な電力供給源として独立電源としても、また商用電源の補完電源としても利用可能となる。

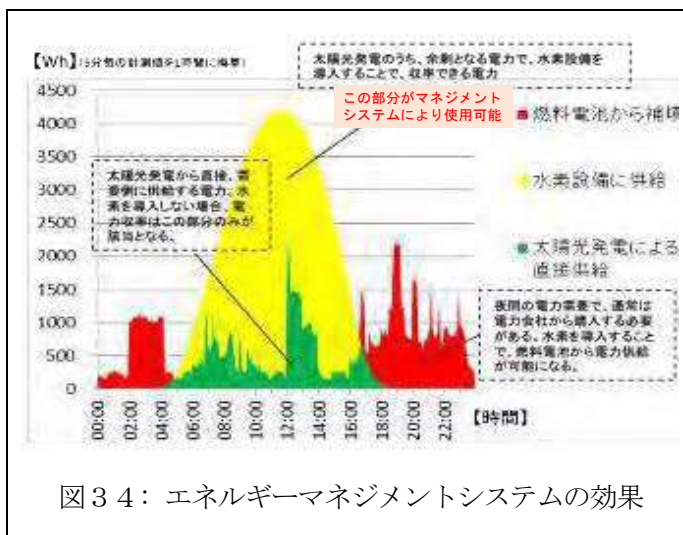


図 3 4： エネルギーマネジメントシステムの効果

(3) 統合的栽培マネジメントシステムの効果

設置場所を問わない、しかも収益性の高い植物工場を可能にすることが出来、国内だけでなく商用電源が普及していないような国や地域への植物工場の輸出まで可能となる。

【その他波及効果】

1) 独立安定電源を持つ住宅・病院・老人介護施設・小型事業者への展開

太陽光発電等の電源効率を上げ、また夜間等も安定して利用できるようになると、災害にも強い分散化電源として一般住宅や病院、老人介護施設および小型事業者への展開が期待される。

2) 高齢者雇用や障がい者雇用など社会ニーズへの効果

作業環境も良くなり、栽培技術取得も必要なくなるため高齢者や障がい者を雇用することが可能であり、今後の社会問題に対しても貢献が期待できる。

3) 海外におけるニーズへの効果

植物工場を含めたハウス園芸技術が高度化されると日本の品質の良い製品が海外へ輸出可能になる。また、地球規模での人口増加による食糧不足への対応という点からも、海外への展開が期待できる。

【新たな事業展開の可能性】

1) 事業展開地域に関する境界の無い事業展開

IT技術とAIを組み合わせた再生可能エネルギーを活用した統合的栽培マネジメントシステムはインターネットで結ばれていれば、どの地域・国などに関係なく展開できる。すなわち真のボーダレスな事業展開が可能である。

2) 六次産業との融合

植物工場やハウスでの栽培事業を直接食品加工業と接続することが容易になる。すなわち一次産業と六次産業が融合した新しい産業の創出に寄与できる。また、アドバイザーであるエコデシックと共同で、そのような新しい事業を推進することが期待できる。

3) 園芸栽培（植物工場、ハウス）の拡大

園芸栽培の栽培コストを削減することと栽培可能品種を増やすことで、園芸栽培の収益力が増大し、農家に収益をもたらすことが可能となる。安定で高収入な栽培方法として園芸栽培の拡大が期待できる。

- 4) 独立電源として安定な地域発電所ビジネスの創出
 コスト問題の解決は必須であるが、離島等で新たな産業を起こす時などで、再生可能エネルギーを用いた安定電源供給が可能な地域発電所ビジネスの創出が期待される。

【想定する国内、海外市場（現状、今後の動向）】

- 1) 植物工場・ハウスへの効果
 施設園芸規模（植物工場やハウス）に関する農水省調査報告を図35、36に示す。

この報告によれば複合環境制御装置のある温室（完全人工光型植物工場も含む）の普及の重要性が指摘されている。普及を促進するには特に燃料費などの環境を制御するためのエネルギーコストの低減と光合成の可視化などによる栽培制御が重要とされている。農業人口の減少に加え、エネルギーコスト・栽培コストの問題から、図36に示すように現在は温室の数は漸減しているが、数万haあるので市場規模は大きい。国としてはエネルギーコストが削減し、植物工場・ハウスなどを増やし国内自給率を向上させたいと考えている。

同じく、農水省調査による代表的葉物野菜であるレタス類の生産推移を図37に示す。植物工場にとっては当面の栽培ターゲットはレタスに代表される葉物野菜であり、この図から植物工場の当面の市場規模が次のように推定される。レタス生産量：568千t（平成27年）であり、栽培コストが折り返えば、20%以上植物工場に置き換わる可能性がある

と期待されている。例えば、エコデシックの本格工場での生産量は100t/年程度であるためレタス類だけでも数千規模の植物工場が必要であり、今後栽培品種が増えると、更に市場規模は増大すると予想される。このような背景から本研究開発の成果は将来の農業で重要とされている植物工場の普及及び、ハウスの高度化に大きな貢献が期待できる。

- 2) 農業の継続性に関する効果

表4に農水省調査による就農者人口推移と高齢者の割合を示す。近年就農者の減少と高齢化は更に進んでいる。それに対して新規就農者は増えていない。その理由は「作業がきつい」「栽培技術の習得が困難」ということがあげられている。本研究開発の成果で、これらの問題を解決することが可能であり、農業の継続性に関して大きな効果を与えることが期待できる。

表4：就農者人口推移と高齢者の割合

	平成27年 (2015年)	27 (2015)	28 (2016)	29 (2017)
農業従事者人口	3,601	3,223	2,836	2,604
施設園芸 （割合）	2,562 (71.2%)	2,404 (74.6%)	2,109 (74.4%)	1,578 (60.6%)
施設園芸 （割合）	693 (19.2%)	693 (21.6%)	677 (23.9%)	629 (24.1%)
新規就農者総数	2,400	2,211	2,051	1,932
施設園芸 （割合）	1,750 (72.9%)	1,484 (67.1%)	1,254 (61.1%)	1,118 (57.6%)
施設園芸 （割合）	308 (12.8%)	482 (21.8%)	599 (29.2%)	517 (26.7%)
新規就農者 （割合）	1,122 (46.7%)	1,045 (47.3%)	1,198 (58.4%)	1,397 (72.3%)
新規就農者 （割合）	672 (28.0%)	643 (29.1%)	551 (26.9%)	465 (24.2%)



図38 容量別電力買取量推移

- 3) 太陽光発電事業者への効果

図38に経産省調査による太陽光発電の買取量推移を示す。買取量は飽和傾向にあり、今後の課題として自

家消費の推進が挙げられている。既に一部の太陽光発電事業者は太陽光発電と植物工場を合わせた事業の検討を始めており、本研究開発の成果は太陽光発電事業者の今後の事業展開に合致しており、確実な販売拡大が期待できる。また、エネルギーコストが30%以上削減できるため国の重要政策である省エネルギー社会構築に貢献できる。

【川下企業（顧客）ニーズ】

表5に川下企業（顧客）のニーズと、ニーズへの対応を示す。

表5： 川下企業（顧客）のニーズと、ニーズへの対応

川下企業（顧客）	川下企業（顧客）ニーズ	ニーズへの対応
植物工場システム事業者 （エコデシックなど）	エネルギー利用効率アップと廃棄損削減による栽培コスト削減	エコデシック栽培技術と組み合わせたエネルギーマネジメント手法によるコスト削減
	独立電源植物工場の実用化	エネルギー利用効率の高いマネジメント手法による初期投資削減とランニングコスト削減
ハウス農家・農業法人	だれにも可能な栽培手法決定（農業継続性）	植物工場で開発した新しい栽培手法により、誰でも栽培が可能になる。
	栽培コスト（エネルギーコスト削減・廃棄損の低減）	再生可能エネルギーを有効活用した新しい栽培手法により栽培コスト削減と利益拡大の実現
太陽光発電事業者 住宅建設業者 小規模事業者	現在の太陽光発電の有効活用	植物工場などへの適用
	大型災害に強い住宅や事業所 常時使えるシステム（非常時のみだとコスト高）	自立型水素蓄電システムへの応用 エネルギー効率を高めることによる設備投資コストの抑制とランニングコスト抑制

【販売促進戦略】

表6に販売促進戦略を示す。まずは植物工場及びハウスでの市場確保を目指し、その後既存の太陽光発電利用や住宅関係への展開を目指す。

表6： 販売戦略

	対象製品	第1ステップ	第2ステップ	第3ステップ
植物工場	(1) (3)	<ul style="list-style-type: none"> エコデシック植物工場デモシステムの活用（東葛テクノプラザ、鹿児島モデル工場） デモシステムの大型化 協力会社へのサンプル出荷*（Fーグレイス、ミタデン） 	<ul style="list-style-type: none"> 離島計画への提供 エコデシック自社大型工場への導入 エコデシック販売植物工場への標準実装 商用電源工場と独立電源工場では形態が異なる 	<ul style="list-style-type: none"> 海外への本格展開 Fーグレイスチャネル活用
ハウス	(1) (3)	<ul style="list-style-type: none"> 柏地区協力農家での実証試験 沖縄マンゴーハウスでの実証試験 	<ul style="list-style-type: none"> 柏地区での拡大展開 沖縄マンゴーハウス団地全体への販売開始（マンゴー以外への言及） 	<ul style="list-style-type: none"> JA（農協）との協業による全国への展開
太陽光発電事業者	(2)	<ul style="list-style-type: none"> ミタデンとの提携によるニーズ明確化 	<ul style="list-style-type: none"> 太陽光発電利用デモ装置設置 	<ul style="list-style-type: none"> 商品化による本格展開 工場等の自家電源として
住宅・公共施設・小規模事業者	(2)		<ul style="list-style-type: none"> 避難所への設置（公民館：通常使用にも適用） 	<ul style="list-style-type: none"> 病院、老人福祉施設などの非常時に電気が止まるところに適用（通常使用と併用）

【販売先、川下製造業者等の事業化の体制】

図39に事業化の体制図を示す

- ・植物工場用の製品（栽培マネジメントシステム、統合的栽培マネジメントシステム）については(株)エコデシック経由で販売する。
- ・ハウス農家などに対しては農協などの協業を行う。その理由は農家の場合は設備投資資金を農協からの借り入れで行う場合が多いためである。既に沖縄マンゴー団地ではその方法で事業化を進めている。
- ・住宅向けのエネルギーマネジメントシステムについては住宅メーカーである住友林業(株)、関連機材製造の(株)エノア、(株)ミタデンなどを経由し販売を予定している。

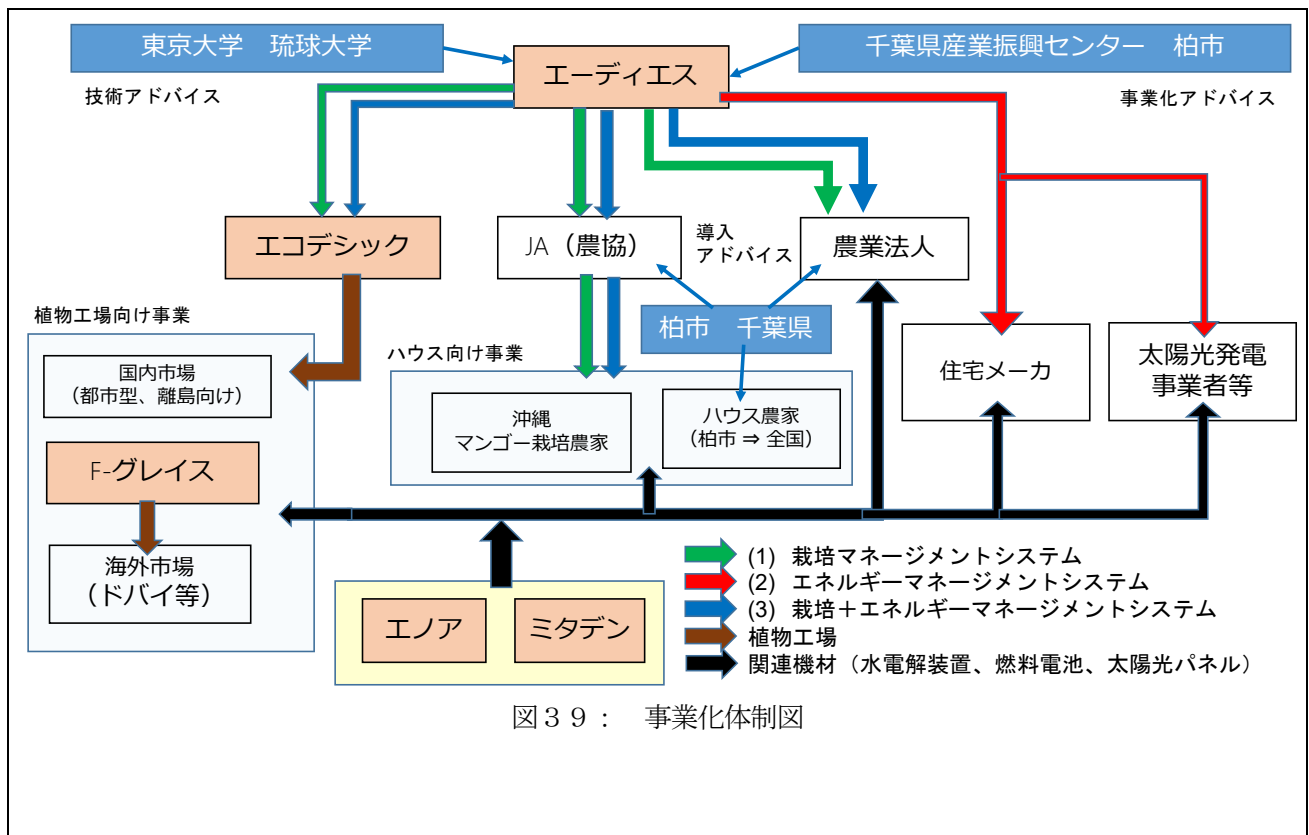


図39： 事業化体制図