

平成29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

「閉鎖環境セルを基本としたユニット型完全自動高効率植物工場
の開発」

研究開発成果等報告書

平成30年5月

担当局 近畿経済産業局
補助事業者 公立大学法人大阪府立大学

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
- 1-2 研究体制
(研究組織・管理体制、研究者氏名、協力者)
- 1-3 成果概要
- 1-4 当該研究開発の連絡窓口

第2章 本論

- 2-1 セル式植物工場用最適栽培条件の確立
- 2-2 手動型セル式植物工場ユニットの開発
- 2-3 半自動型セル式植物工場ユニットの開発
- 2-4 全自動セル式植物工場ユニットの開発

最終章 全体総括

- 3-1 成果概要
- 3-2 事業の成果にかかる事業化展開について

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

（背景）

食料自給率の低下を防ぐために、営農者の廃業傾向を抑制する必要がある。また、農業のプロとしてのこれら高齢営農者が培ってきた技術の継承も必要である。高齢営農者の事業継続には農業の省力化が求められている。機械化された植物工場が小規模でも採算がとれ事業として成り立つことが求められている。また、農業経験のない新規参入事業者にとって、安定した作物栽培を工業製品基準保証できる植物工場が必要とされている。

営農者の利益向上のためには、高収量と年間を通しての収穫がなければならない。さらに、作物の多品種化も可能でなければならない。これらのニーズに応えるためには、小規模営農者にも採用可能な、省エネルギーでランニングコストの低く、多品種を栽培できる完全自動人工型植物工場の登場が待たれている。

このような育苗から収穫まで完全自動型の植物工場ユニットは、栽培環境にない地域での生鮮野菜栽培を可能にする。極地や灼熱地帯での作物栽培のニーズは高い。海外需要への対応も可能となる。

（研究目的及び目標）

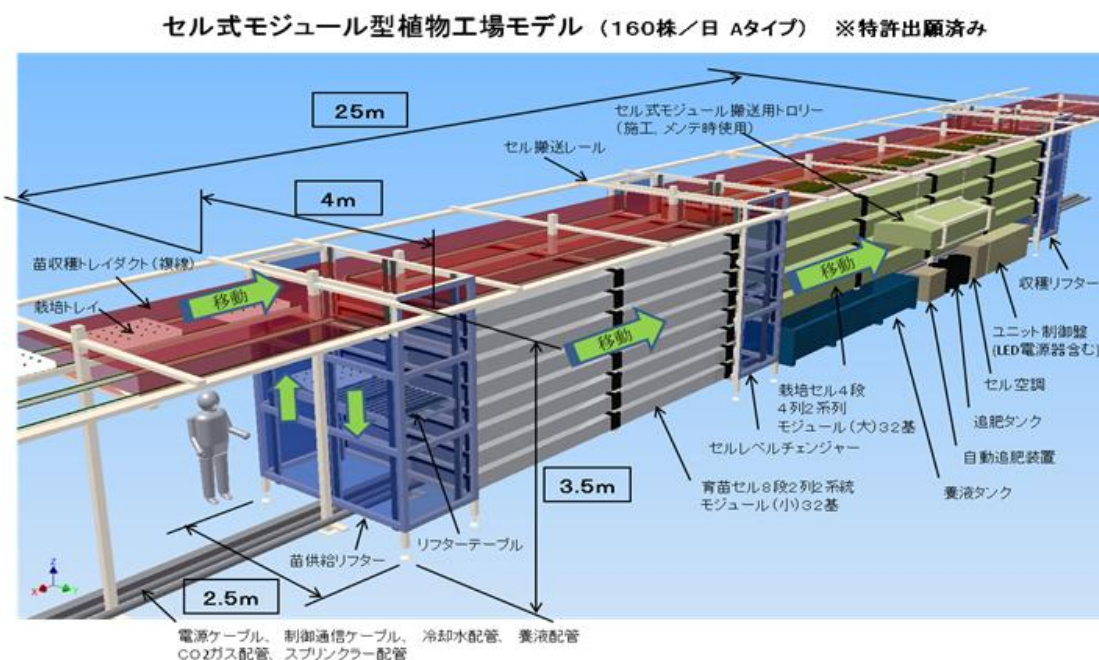


図1 全自動型セル式植物工場ユニットの模式図

セル式植物工場ユニットは図1のように、栽培に必要な部分のみを空調環境とすることで無駄な空調を行わないことでエネルギーコストを大幅に削減している。全自動型では図中左から右へ栽培段階が進行する。図に示したひとつのユニットは、2種類の内部に照明を持つセル（育苗セルと栽培セル。育苗セルは栽培セルの半分の高さ。）とこれらセルの全自動移動システム及び空調設備から構成される。

実際の栽培は、まず密閉されたダクトから供給される発芽トレイを自動的に育苗セルに配置させ（密に）、適当な大きさまで成長した苗を、栽培セルに適当な間隔で自動的に配置させる。栽培セル内で品種ごとの最適環境で栽培された作物は、最終的に自動的に収穫される。全自動型では、種まきから収穫まで栽培状況を常時監視し管理するため、人の手が加わることはない。そのため、セルで外部環境から隔離された作物の完全無菌化も可能となる。現在、試験的に設計したユニットは図に示した寸法である。すなわち、長さ：約 25m、幅：約 4m、高さ：約 3.5m である。実際にはこれに種苗関連のサブユニットが前段に加わる。更に、上述のセル式植物工場ユニットを縦列や並列に複数台連結することにより、大規模な植物工場にも対応可能である。

そのために次の4課題を設定した。

【1. セル式植物工場用最適栽培条件の確立】

照明：スポット照明／照明時間／照明距離最適化の達成

培養液：濃度・流量管理最適化の達成

CO₂ 施用：濃度、明期／暗期管理最適化の達成

温度調整：明期／暗期管理最適化の達成

アイスプラント栽培への最適化の達成

【2. 手動セル式植物工場ユニットの開発】

ユニット設計（空調システム設計）

セル単体の試作開発とユニット製作

手動試作機による栽培実験と効率評価

【3. 半自動セル式植物工場ユニットの開発】

ユニット設計（セル移動連続出荷システム設計）

LED 照明最適配置開発

栽培状況監視システム開発

半自動セル式ユニットの試作

半自動試作機による栽培実験と効率評価

【4. 全自動セル式植物工場ユニットの開発】

半自動ユニットへの常時栽培管理システムの組み込み（生育状態常時管理システム設計）

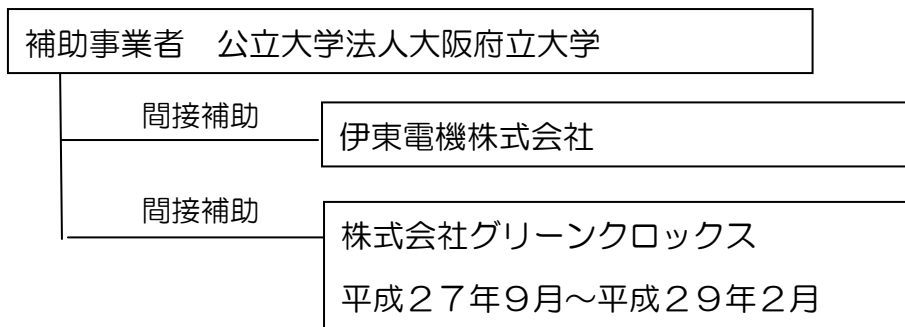
全自動セル式植物工場ユニットの試作

全自動試作機による栽培実験と効率評価

1-2 研究体制

(1) 研究組織及び管理体制

研究組織



総括研究代表者（PL） 所属：伊東電機株式会社 役職：開発本部 機構開発部 PF設計課 課長 氏名：田中 政樹	副総括研究代表者（SL） 所属：公立大学法人大阪府立大学 役職：大学院 工学研究科 ものづくりイノベーション研究所 教授 氏名：金野 泰幸
---	---

管理体制

【補助事業者】公立大学法人大阪府立大学

管理員

氏 名	所属 役職	実施内容（番号）
角谷 佳則	地域連携研究機構 研究支援課 課長 （平成27年9月～平成29年3月）	事業管理
中畠 淳	研究推進本部 研究推進課 課長 （平成29年4月～平成30年3月）	事業管理
日高 伴紀	研究推進本部 研究推進課 課長補佐	事業管理
笹谷 幸裕	研究推進本部 研究推進課	事業管理

補助員

氏 名	所属 役職	実施内容（番号）
吉田 典子	地域連携研究機構 研究支援課 （平成27年10月～平成28年8月）	事業管理
辰巳 真紀	地域連携研究機構 研究支援課 （平成28年4月～平成30年3月）	事業管理

（2）研究員

【補助事業者】公立大学法人大阪府立大学

研究員

氏 名	所属 役職	実施内容（番号）
金野 泰幸	大学院 工学研究科 教授 ものづくりイノベーション研究所副所長	【1】【2】【3】 【4】
吉田 篤正	大学院 工学研究科 教授 植物工場研究センター副所長	【2】【3】【4】
杉村 延広	大学院 人間社会システム科学研究科 教授	【2】【3】【4】
和田 光生	大学院 生命環境科学研究科 講師	【1】
青木 考	大学院 生命環境科学研究科 教授 植物工場研究センター副所長	【1】
福田 弘和	大学院 工学研究科 准教授	【1】【4】
小泉 望	大学院 生命環境科学研究科 教授	【1】【2】【3】 【4】

【間接補助事業者】伊東電機株式会社

研究員

氏 名	所属 役職	実施内容（番号）
-----	-------	----------

【公開版】

田中 政樹	開発本部 機構開発グループ 機構開発部 P F 設計課 課長	【1】【2】【3】 【4】
前川 瞬	開発本部 機構開発グループ 機構開発部 P F 設計課 主任	【2】【3】【4】
佐山 真二	開発本部 制御開発部 制御技術課	【2】【3】【4】
鈴木 正樹	開発本部 機構開発グループ 機構開発部 P F 設計課	【1】【2】【3】 【4】
宮前 志基	技術本部 機構開発グループ 機構開発部 P F 設計課（平成 28 年 4 月～30 年 3 月）	【2】【3】【4】
稲谷 健司	技術本部 機構開発グループ 機構開発部 P F 設計課（平成 28 年 4 月～30 年 3 月）	【2】【3】【4】
田村 文香	技術本部 機構開発グループ 機構開発部 P F 設計課（平成 28 年 4 月～30 年 3 月）	【1】

【間接補助事業者】株式会社グリーンクロックス

研究員

氏 名	所属 役職	実施内容（番号）
山口 淳一	工場長 （平成 28 年 9 月～29 年 2 月）	【1】
昌谷 公彦	営業部 部長 （平成 28 年 9 月～29 年 2 月）	【2】【3】【4】
円城寺 歩	栽培部 主任 （平成 28 年 9 月～29 年 2 月）	【1】
木村 知	栽培部 主任 （平成 28 年 9 月～29 年 2 月）	【1】
大城 翔麻	栽培部 （平成 28 年 9 月～29 年 2 月）	【1】

1－3 成果概要

植物工場のランニングコスト低減による生産性向上を工場製品としてのセル式植物工場ユニットで達成するために、ソフトウェアとしての栽培条件の確立とハードウェアとしての自動搬送型セル式植物工場ユニットを開発し、これらを統合した全自動セル式植物工場を試作した。

初年度には、セル式の効果の検証のために植物工場セルの開発を行った。すなわち、セル内最適照明と最適空調条件として、これまで大阪府立大学植物工場研究センターで培ってきた栽培条件を適合させた。

第2年度にはこの手動型による照明及び空調コストの低減を検証しつつ、このセルを栽培

【公開版】

段階に応じた自動搬送システムに組み込んだ半自動型セル式植物工場を試作した。これと平行して栽培条件自動管理システムを開発した。

第3年度には栽培条件自動管理システムを組み込んだ全自動型セル式植物工場を試作し、そのコストダウンについても検討した。

1-4 当該研究開発の連絡窓口

伊東電機株式会社

開発本部 機構開発グループ 機構開発部 P F 設計課 課長 田中 政樹

TEL 0790-47-1710

FAX 0790-47-1618

E-mail m.t@itohdenki.co.jp

公立大学法人大阪府立大学

研究推進本部 URA センター センター長 辻川正人

TEL 072-254-9317

FAX 072-254-7475

E-mail masatot@mtr.osakafu-u.ac.jp

第2章 第2省研究内容及び成果

2-1 セル式植物工場用最適栽培条件の確立

2-1-1 照明：スポット照明／照明時間／照明距離最適化の達成

閉鎖型人工光植物工場における光量は、晴天時の太陽光に比べて大幅に少ない。セル式植物工場における作物と照明器具の位置関係や配置は生産性のために重要な設計要素である。本開発の初期の目的であるレタス生産においては、レタスの生育に伴う最適距離を作物トレイの移動によって調節する。また、LED の配置は発熱による栽培環境の変動の観点からの考慮も必要であった。



図2 植物工場セルの内部

2-1-2 培養液：濃度・流量管理最適化の達成

本開発の植物工場では水耕栽培を行うが、その最適成分についてはこれまでの大阪府立大学植物工場研究センターでの研究成果を活用できた。また、その最適成分や温度・流量の維持管理には開発した栽培環境管理システムが自動管理を行う。

問題となる雑菌の繁殖についての検証結果を図3に示す。衛生面を考慮した培養液の管理手順を確立した。

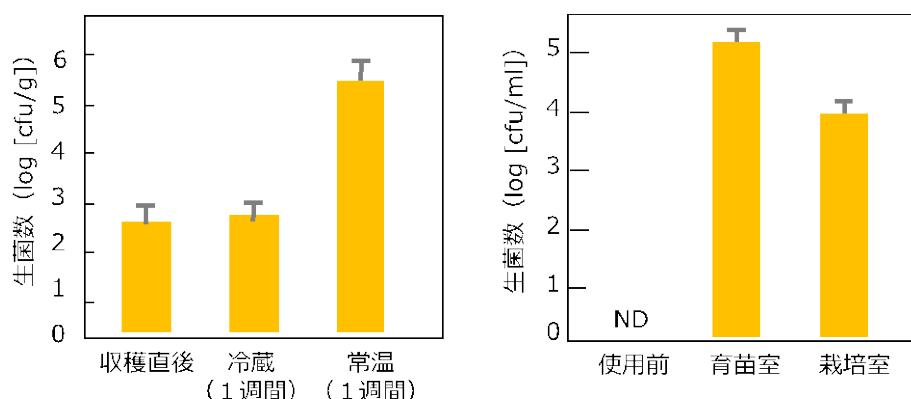


図3 作物とセル内培養液中の生菌数

2-1-3 CO₂ 施用：濃度、明期／暗期管理最適化の達成

栽培環境中の CO₂ 濃度は、植物工場研究センターでの研究成果として大気中の濃度である 400ppm の3倍程度が最も生産性が高いことが立証されている。本開発では、CO₂ 管理システムを導入する事による生育日数の短縮と設備及びランニングコストの上昇を検討した結果、栽培観胸中の CO₂ 濃度の調整は行わないことを決め、CO₂ 管理システムの開発は別途行うことで将来の顧客ニーズに対応することとした。

2-1-4 温度調整：明期／暗期管理最適化の達成

栽培環境の温度管理は植物工場運営の最重要項目のひとつである。特に本開発のようなセル式でそれぞれの栽培領域が小さく分けられている場合には適切な調整機構がないと大幅な温度変動となり作物の生育に影響を与える可能性があった。

また、作物栽培にとっての最適温度は明期と暗期で異なり、これらは作物の種類によっても異なる。本開発で行った栽培条件探索のための試験条件の一例とその結果を図4と図5に示す。栽培初期では試験条件の範囲での温度依存性は少ないが、栽培後期では種による最適温度の違いも明らかとなった。これらのデータを元に、作物の大きさなどの品質を揃えるために栽培環境内の均熱化温度範囲を決め、図6に示すようなシミュレーションを活用し、空調システムの配置など設計基準を決定した。

光合成適温の探索

○栽培環境

- ・ レタス品種： ‘フルアベル’ ， ‘フリルアイス’
- ・ 培養液：園試処方1／2単位
- ・ 栽培環境
 - 明期：16 h, 25℃
 - 暗期： 8 h, 20℃
- ・ PPFD 約 $180 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
フィリップス
(GP LED production DR/W/FR 120 LB)



○光合成速度の計測

- ・ 湿度：70%
- ・ 気温：20～30℃
- ・ PPFD：150、250 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$
- ・ CO_2 ：1000ppm

図4 光合成適温の探索試験条件

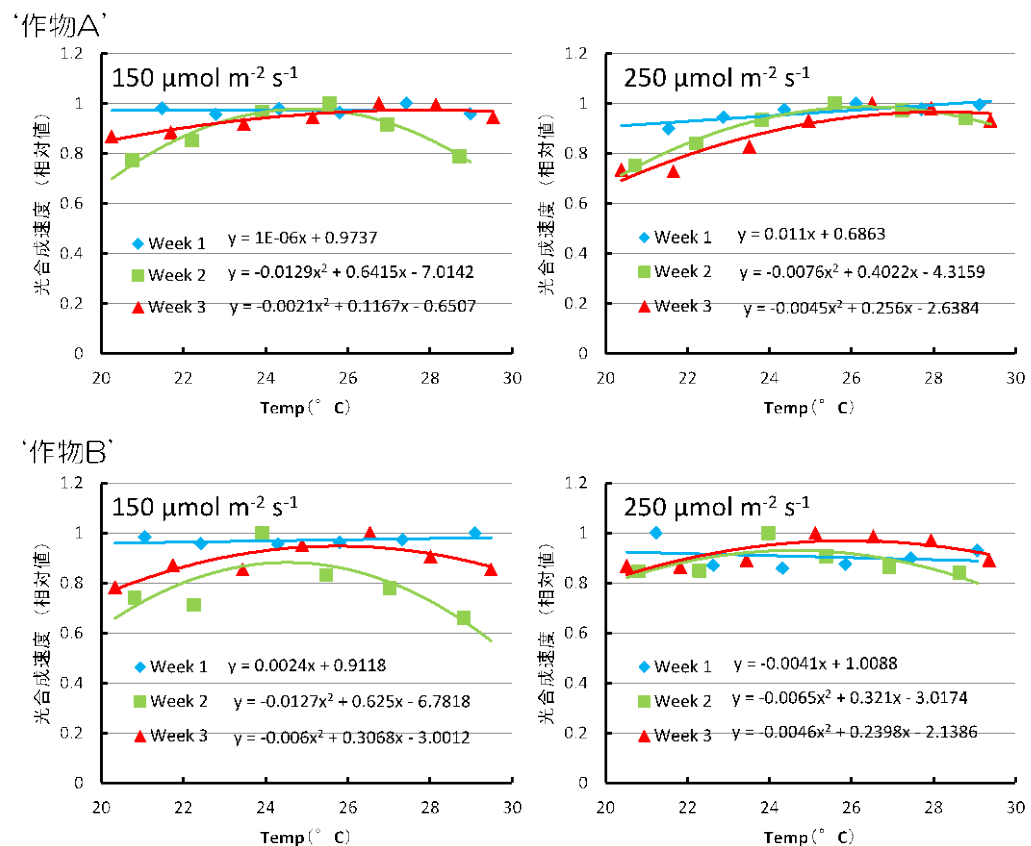


図5 光合成適温の作物種依存性

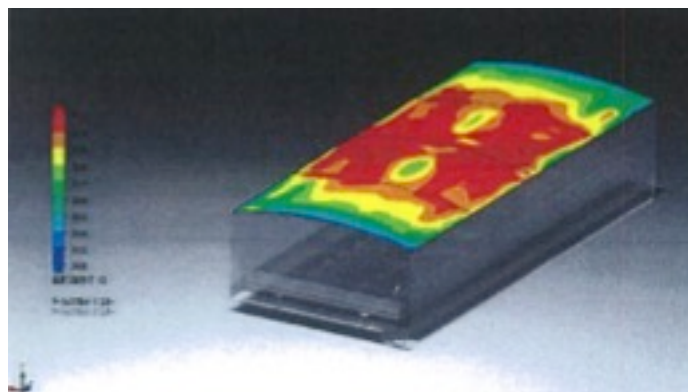


図6 セル内温度分布解析

2-1-5 アイスプラント栽培への最適化の達成

セル式という栽培領域の区分けが可能なシステムの強みを活かすために、レタス以外の作物栽培についても検討を行った。アイスプラントについてはおなじ葉物として栽培条件を確立した。さらに栽培条件をソフトウェアとして提供することを目的とした植物工場ユニットの販路開拓のためには、栽培作物の多様化による優位性を確保しなければならない。本開発では人工光栽培での光強度が準最適条件であっても、安定した収量が得られるような形質をもたらす遺伝子を同定し、植物工場向け品種育成に活かす事を目的とした研究の必要性が課題としてあげられた。

2-2 手動型セル式植物工場ユニットの開発

2-2-1 ユニット設計（空調システム設計）

セル式植物工場でのセルの設計のために検証用セルを試作し（図7，8）、これによる空調システムの検証を行った。

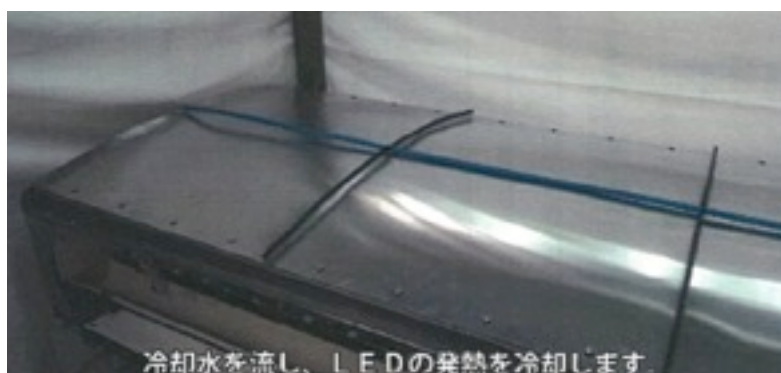


図7 検証用セルの外観



図8 検証用セルの内部

2-2-2 セル単体の試作開発とユニット製作

手動型セル式植物工場ユニットを試作した。照明・空調・培養液管理を最適化したセルの様相とユニット全体を図9に示す。手動型セル式植物工場ユニットはトレイ移動・収穫などを人力で行う営農経験者向けユニットであり、低コスト化による販売価格の適正化が必要である。また骨格部分に間伐材を使用することにより、自治体などから要請のある間伐材の有効利用などへのアピールとともに低コスト化を進めた。



図9 セル内部の栽培トレイ（左）と間伐材を用いた手動型ユニットの骨格部分（右）

2-2-3 手動試作機による栽培実験と効率評価

手動型試作機によるレタス栽培の検証を行った。目標であったセル式での栽培を達成した。ランニングコストのさらなる低減対策を継続中である。

2-3 半自動型セル式植物工場ユニットの開発

2-3-1 ユニット設計（セル移動連続出荷システム設計）

セル式植物工場ユニットの断面構造を図10に示す。全体像及びそのサイズは図1に示すとおりである。

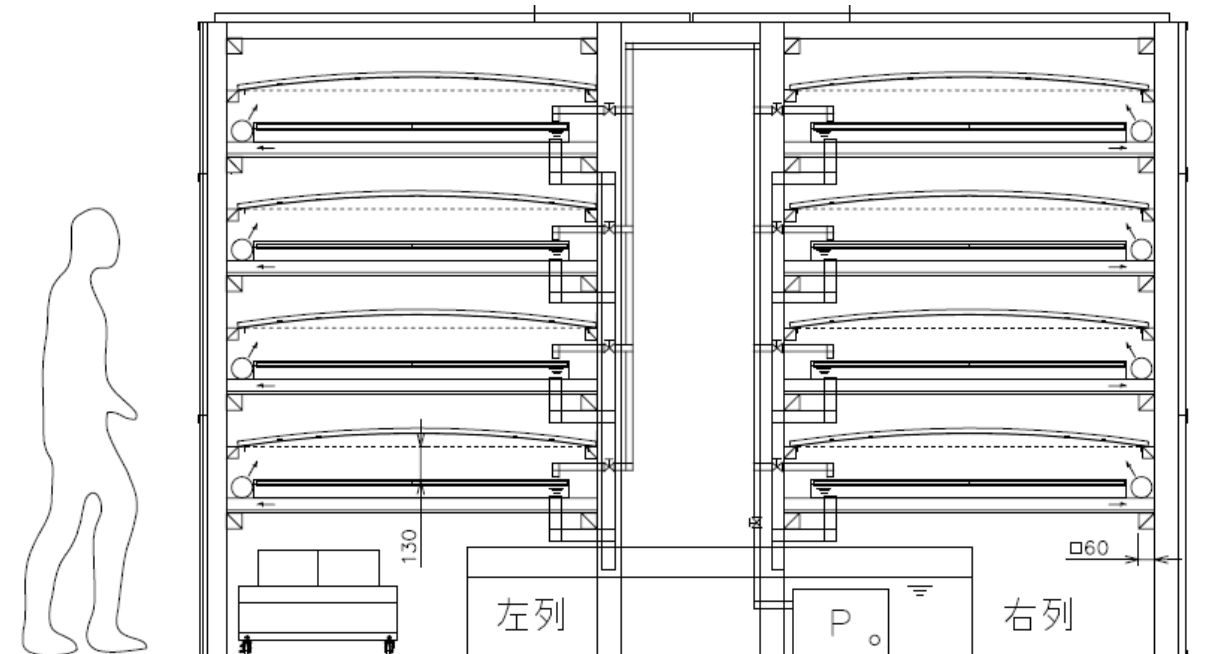


図10 セル式植物工場ユニットのサイズ

2-3-2 栽培状況監視システム開発

半自動型セル式ユニットの開発・試作と平行して、この半自動型ユニットに組み込んで全自動型となすべく、栽培環境管理のためのシステムを開発した。栽培環境を監視し最適栽培条件に近づけるためのシステムで、現在はレタス栽培用のデータで運用できるシステムである。監視や管理の状況を図11に示す。図11右に映っている「CO₂」の表示は将来のCO₂管理システム用である。



図1 1 栽培条件自動監視システム

2-3-3 半自動セル式ユニットの試作

自動搬送と自動収穫（株の取り出しまで）を行える半自動型セル式植物工場ユニットを試作し、検証用として手動型と同様、図1 2に示すように伊東電機（株）工場内に設置した。



図1 2 屋内に設置された手動型（左）と半自動型セル式植物工場ユニット（右）

2-3-4 半自動試作機による栽培実験と効率評価

半自動型試作機によるレタス栽培の検証を行った。目標であった日産 150 株/ユニットを達成した。ランニングコストのさらなる低減対策を継続中である。

2-4 全自動セル式植物工場ユニットの開発

2-4-1 半自動ユニットへの常時栽培管理システムの組込みと全自動型の試作完成

前述の栽培環境管理システムを半自動型セル式植物工場ユニットに組み込むことで全自動型植物工場ユニットとした。

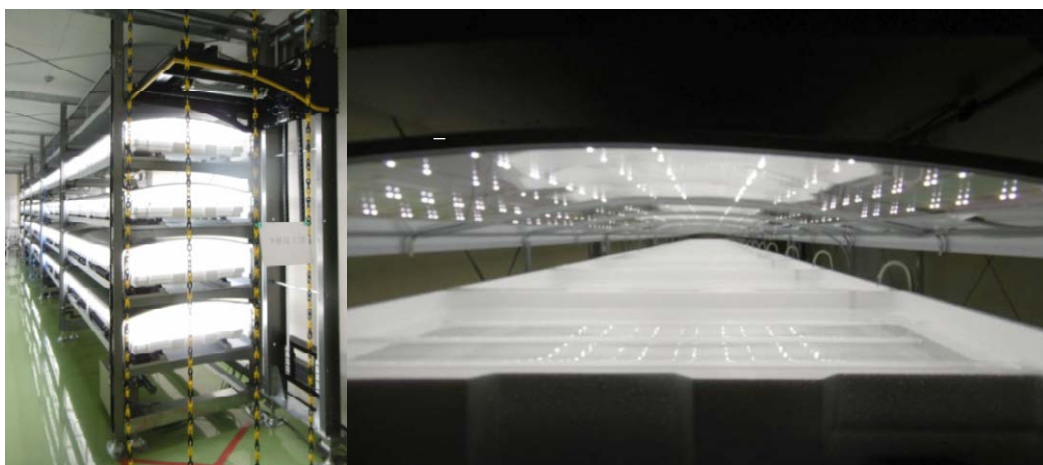


図1 3 全自動セル式植物工場の外観とセル内照明の状況

2-4-2 全自動試作機による栽培実験と効率評価

全自動型試作機によるレタス栽培の検証を行った。市販可能な 60g から 120 g のレタスの安定栽培が立証できた。課題として湿度の変動や培養液の成分変動及び生菌数の状況などを検証中である。

第3章 全体総括

3-1 成果概要

植物工場の建屋全体ではなく栽培領域のみを最適な栽培環境に置くことと自動化で植物工場運営のランニングコストを大幅に低下しようとするセル式全自動植物工場ハードウェアを工場製品としての性能と品質を高いレベルで達成できた。この全自動化にはソフトウェアとしての栽培条件自動管理システムが組み込まれ、全自動型セル式植物工場作ユニット試作機を完成させることができた。

工場生産による工場製品としての規格化された植物工場ユニットと、これを全自動で運用する栽培データを組み込んだシステムを提供することで可能になったことにより、外的要因リスクの高い作物栽培事業への参入に対して、営農家に限らず作物栽培経験の無い事業者にも作物生産事業への参入リスクの低減を提案することが可能となった。

3-2 事業の成果にかかる事業化展開について

当初から、農業経験者（高齢営農家）への体力的な負担のない作物栽培の方法としていくつかの自治体から引き合いのあった手動型セル式植物工場ユニット試作機や、適当規模の地下空間を保有する自治体からの作物栽培事業の実証試験についての引き合いなど、完全閉鎖型人工光植物工場に対する関心は強く、これらの自治体からの検証によって市場からの評価も確実に好転換すると考えられる。

空き倉庫など自前の建物を保有する事業者にとって、空調や照明を植物工場として適合させることは、植物工場そのものを建設するのと同規模の設備投資が必要となる。本開発によって提供されるセル式植物工場ユニットは、1ユニット日産250株で栽培日数40日程度（レタスの場合）の高生産性作物栽培ユニットを建屋の保温性能などにほとんど関係なく必要ユニット数を設置するだけで、ランニングコストの低い作物栽培事業を開始できるという強みを持つ。

国内外の高温でレタスなどの高原野菜の栽培不適格地での近郊栽培事業の提案を進めていく予定である。