植物工場技術の研究・開発および実証・教育・展示拠点 (3) 千葉大学

後藤英司・丸尾 達

千葉大学大学院園芸学研究科 271-8510 千葉県松戸市松戸 648

Research Centers for Intelligent Plant Production Systems in Japan (3) Chiba University

Eiji GOTO and Toru MARUO

Graduate School of Horticulture, Chiba University 648 Matsudo, Matsudo, Chiba 271-8510, Japan

Abstract

This paper introduces the Plant Factory R&D Center, Chiba University supported by the Ministry of Economy, Trade and Industry (METI) and the plant factory project at Kashiwanoha campus supported by the Ministry of Agriculture, Forestry and Fisheries (MAFF).

Keywords: artificial light, environment control, greenhouse, horticulture, plant factory

はじめに

千葉大学は、経済産業省の「植物工場基盤技術研究拠点整備事業」および農林水産省の「モデルハウス型植物工場実証・展示・研修事業」に採択され、平成 23 年 4 月から施設を用いて研究開発および実証事業を展開している。本学における両事業の特徴は、太陽光利用型と人工光型の両方に取り組む点である。また、基礎研究は経済産業省の研究拠点で行い、実証を農林水産省の実証・展示・研修拠点で行う形をとる。そのため、同一研究機関において基礎研究から実用化までをつながりを持って取り組む点も特徴である。本稿では両事業の概要を紹介する。

千葉大学植物工場研究センター (経済産業省事業)

(1) 概要

本事業は園芸学研究科が中心となり環境健康フィールド科学センターの協力を得て研究開発を進める (Fig. 1)。事業目的は、太陽光利用型植物工場と完全人工光型植物工場に関して産学官で革新的な技術開発を行い、その成果を植物工場産業へ技術移転して我が国の施設園芸作物の生産向上に結びつけ、また中小企業者の植物工場関連事業への参入拡大および地域経済の活性化に貢献することである (Fig. 2)。

具体的には太陽光利用型植物工場 (新規 16 棟、各棟 200 ~ 400 m²) と完全人工光型植物工場 (既設、改修) を用いて研究開発を推進する。松戸キャンパスの 15 棟は、ユビキタス環境制御システムを導入し、温室ごとの個別管理と集中管理の両方を行える (Fig. 3)。温室は棟ごとに異なる機能を有し、果菜類を中心に果樹、葉菜類、薬用植物などを育成できる。人工光栽培室は全部で 6 室あり、4 室は多段式栽培棚 (Fig. 4) に LED 等を備えて葉菜類および薬用植物を育成し、2 室はセラミックメタルハライドランプで高光強度の条件

2012 年 4 月 3 日受付

2012 年 4 月 9 日受理

Corresponding author: Eiji Goto

(goto@faculty.chiba-u.jp)

Fig. 1 千葉大学植物工場研究センターの配置
The layout of the facilities of Plant Factory R & D Center, Chiba University

Fig. 2 植物工場研究センターの事業概要
Research outline of Plant Factory R & D Center, Chiba University

を作り穀類、マメ類、果菜類を育成できる。また、松戸キャンパスに分析・研修棟（育苗室、分析機器室、温室群の制御監視室、研修員室、セミナー室）、柏の葉キャンパスに実験棟（培養室、分析機器室、快適性計測室、研修員室、セミナー室）を設け、技術指導および人材育成を行う。人材育成・研修については、千葉県および千葉県産業振興センターの協力を得て研修コースの実施やNPO法人植物工場研究会の人材育成事業との連携を計画している。

(2) 研究開発テーマ

本事業の課題を設定するにあたり、今後植物工場が必要となる技術開発要素をi) 施設・設備等、ii) 運転等、iii) 栽培技術等、に分類した (Tables 1 and 2)。その中から本施設

で取り組みやすい課題を実施している。

太陽光利用型の研究開発は、ハードウェアまたはソフトウェアだけに絞って進めることも可能であるが、植物工場は各種要素技術の集合体であり、連携をとることが重要である。そこで本事業では、5年後、10年後の太陽光利用型植物工場の技術革新につながる栽培ソフトウェアから設備ハードウェアまで幅広いテーマで成果を出すことを目的として当面の開発課題を設定した (Table 3)。

機能性成分を多く含む葉菜類や特産野菜および薬用植物を植物工場で商業栽培するためには、有用成分増強のための栽培技術を構築する必要がある。機能性成分のコントロールには光環境と温度環境の制御が有効である。そこで、環境

Fig. 3 ユビキタス環境制御システムを導入した温室群
The ubiquitous environment control system using fiber-optic network for greenhouses

Fig. 4 人工光型多段式栽培室
The multi-layer plant production shelves equipped with LEDs

構築に加えて、完全人工光型のメリットを活かした環境制御による高品質化と環境ストレス付与による機能性成分の増量に関する研究開発を行う (Table 4)。

本事業の研究開発は太陽光利用型と完全人工光型の両方をカバーし、ハードウェアからソフトウェアまで幅広く取り組む点が特徴である。これらのテーマを連携して実施することにより、相乗効果を期待でき、また、その成果をもって人材育成と技術指導を行うことができる。これらの事業を通じて植物工場の設置数増加に寄与し、食料自給率の向上、フードマイレージの削減、CO₂ 排出抑制、シルバー人材の雇用拡大、環境負荷の軽減等の農業問題の解決に貢献できる。また、世界トップの我が国の工業力を活用し、設備・機器・資材、および栽培ソフトウェアをアジア地域を中心に輸出し、市場拡大を

図り、関連産業への民間企業のさらなる参入拡大を可能にすることが期待されている。

農林水産省植物工場千葉大学拠点

農林水産省「モデルハウス型植物工場実証・展示・研修事業」

(1) 概要

本事業では、環境健康フィールド科学センターおよび園芸学研究科が中心となって、植物工場実証・展示・研修を行う。ここでは「実証規模」を意識した10～25 a 規模の5つの太陽光利用型植物工場と2つの完全人工光型植物工場を柏の葉キャンパスに設置し、約60社が参加するコンソーシアム主導で実証・展示をしながら、多収・コスト削減に向けた種々の取り組みを行っている (Fig. 5)。研修施設、選

Table 1 施設・設備等に関する研究開発要素（○印は該当課題のあるもの）
Research subjects pertinent to facilities and equipment

開発要素	太陽光利用型	完全人工光型
施設・設備等		
ハウス部材の低コスト化	○	
建築方法の合理化	○	
被覆資材（耐用年数延長、軽量化など）	○	
保温資材（材質改良、波長選択性など）	○	
遮光資材（赤外線カット、波長選択性など）	○	
外部遮光装置	○	
補光装置	○	
環境制御システム（分散型、集中型いずれも）	○	
環境計測センサー（無線型、低コスト型、高機能型など）	○	
暖房装置（ヒートポンプ、バイオマス燃料利用、既存装置の効率向上）	○	
冷房装置（細霧冷房、ヒートポンプ、屋根散水）	○	
養液栽培システム（栽培実績のある作物）	○	○
養液栽培システム（新規導入作物）	○	○
太陽電池の導入	○	
トリジェネレーションシステム	○	○
安い夜間電力（蓄電方法、利活用）	○	○
自然エネルギー利用	○	○
都市エネルギー利用	○	○
空調システム		○
光源（発光体）		○
既存光源を用いた照明システム		○
新規光源を用いた照明システム		○

Table 2 運転等および生産技術等に関する研究開発要素（○印は該当課題のあるもの）
Research subjects pertinent to operation and cultivation techniques

開発要素	太陽光利用型	完全人工光型
運転等		
環境制御法（冷暖房に関わる温度・湿度の制御）	○	
環境制御法（気流速の平準化、換気量の調節）	○	
CO ₂ 施用法	○	
自然光の制御技術（遮光、波長選択的な採光、光量の調節）	○	
補光の制御技術（光量の調節）	○	
局所冷房・局所暖房	○	
新規導入作物の照明方法		○
環境制御法（冷房に関わる温度・湿度）		○
環境制御法（空気の循環、風速平準化）		○
生産技術等		
養液栽培の培養液制御法（新規導入作物）	○	○
循環型養液栽培の制御（殺菌、水の再生、不要なイオンの除去など）	○	○
作物の生育制御（機能性成分・栄養成分の増加、成長促進）	○	
生育予測と収量予測	○	
植物の遠隔監視・非破壊モニタリング	○	
植物の生育診断	○	
植物の病虫害の軽減	○	
搬送ロボット（作業軽減、作業代行）	○	
栽培管理ロボット（収穫、せん定作業など）	○	
省エネルギー	○	○
資材（人工培土、水耕栽培部品など）のリサイクル	○	○
収穫物の品質管理・貯蔵・流通	○	○

Table 3 千葉大学で取り組む当面の太陽光利用型植物工場の研究課題
Research topics at the university for semi-closed type plant factories

- i) 施設・設備等
 光選択性被覆資材の開発
 日本型空気膜 2 重ハウスの開発
 無線・省電力の環境計測システムおよび環境制御アルゴリズムの開発
 施設園芸用ヒートポンプシステムの開発
 移動ベンチ・補光システムの開発
 機能性作物の生理・生態的特性に基づく経済的栽培システムの開発
- ii) 運転等
 夏季の環境制御法 (細霧冷房, CO₂ 施用) の開発
 果樹の高品質化のための光環境制御法の開発
 特定網室の環境制御法 (温湿度・光環境) の開発
- iii) 栽培技術等
 果樹の周年生産のための養液栽培法の開発
 機能性作物の効率的刈り取り再生栽培法の開発
 野菜の養液栽培用品種の開発
 果菜類の生育モデル開発および生育予測
 施設内の病虫害防除・駆除システムの開発
 機能性植物の品種選抜および効率的周年栽培法の開発
 施設内の生理的快適性評価と作業環境の向上に関する研究

Table 4 千葉大学で取り組む当面の完全人工光型植物工場の研究課題
Research topics at the university for closed type plant factories

- i) 施設・設備等
 高効率人工光源の開発
 新規光源を用いた高効率照明システムの開発
 照明および空調コストの削減技術の開発
 気流制御による空間内環境の均一性の向上
- iii) 栽培技術等
 人工光制御による高次機能性野菜の効率的生産法の開発
 環境ストレス付与による野菜等の機能性成分増加
 機能性植物 (葉草, 新品種など) の商業栽培化
 遺伝子組換え植物工場を用いた医療用原材料の生産

Fig. 5 農林水産省植物工場千葉大学拠点の全体俯瞰図
Complete view of the plant factory project at Kashiwanoha campus

果・出荷施設, 育苗施設等を含めて拠点全体の総床面積は 13,350 m² である. コンソーシアムの構成は以下の通りである.
 太陽光利用型 (トマト)

- 1) 「統合環境制御による生産性向上」
 方式: 長期多段栽培
 リーダー: (株) 誠和
- 2) 「トマト長期多段密植栽培」
 方式: 長期多段栽培
 リーダー: イワタニアグリグリーン (株)
- 3) 「次世代トマト生産システム」
 方式: 一段密植栽培
 リーダー: JA 全農

- 4) 「減農薬多収型 1 段移動・高密植栽培」
 方式: 一段密植栽培
 リーダー: MKV ドリーム (株)
- 5) 「D トレイ・低段密植トマト栽培」
 方式: 三段密植栽培
 リーダー: (株) 大仙
- 人工光型 (レタス)
- 6) 「低コスト未来型人工光植物工場」
 品目: リーフレタス
 リーダー: (株) みらい
- 7) 「結球レタス安定生産」
 品目: 結球レタス

リーダー：(株)和郷

その他

8)「街中植物工場」

超小型植物工場

リーダー：パナソニック電工(株)

9)「領域横断型」

植物工場関連データの収集・蓄積、施設の効率化

リーダー：(株)前川製作所

太陽光型植物工場ではトマトを、人工光型植物工場ではレタスを実際に栽培し、実証・展示している(Figs. 6 and 7). 栽培作物や目指す目標(多収・コスト削減)は同じでも、それに向かうアプローチはそれぞれで異なっているのが特徴である。いずれのコンソーシアムでも中核となる技術を背景に、

研究的な要素も織り交ぜながら、競争的環境の中で他のコンソーシアムやNPO植物工場研究会とも協調して実証栽培を行い、展示を行っている(Fig. 8).

(2) 拠点共通で取り組む技術要素

上述したように、各コンソーシアムは、各々独自技術をベースに実証栽培を行っているが、千葉大学拠点共通で取り組んでいる技術要素も少なくない。以下にその例を紹介する。

1) ヒートポンプ(HP)の積極的多面活用技術

現在国内でも施設園芸用ヒートポンプの導入が花卉栽培を中心に進んでいるが、主として暖房機としての使用が中心である。本拠点では、基本的にA重油を燃料とした暖房機を使用しない方針を打ち出し、それに変わる施設園芸／植物工場用空調システムとしてHPの積極的活用を図るとともに、多

Fig. 6 千葉大学拠点の実証・展示事業の構成
Research outline of the plant factory project at Kashiwanoha campus

Fig. 7 長期多段密植栽培によるトマト生産温室(コンソ1)
The tomato production greenhouse

Fig. 8 リーフレタス植物工場(コンソ6)
The leaf lettuce production room

面的活用等 HP に関する研究開発を行っている。例えば、実際に稼働中の HP の成績係数や除湿能力の測定・評価や家庭用 HP の活用の可能性、HP を利用した半閉鎖型ハウス（冬季）の可能性の検討などである。

2) CO₂ の効率的施用技術

HP の活用のほか、光合成速度に直接的に影響する CO₂ の施用システムに関しても研究開発を行っている。現在、ほぼ早朝に限定されている CO₂ 施用を見直し、上記 HP の活用で換気時刻を遅らせて、高 CO₂ 濃度時間の延長を図る技術開発と、換気時の効率的 CO₂ 施用方法の検討等に取り組んでいる。また、CO₂ 源として補助暖房システムとしての活用も期待できる灯油や LP ガスを燃料とした燃焼型の発生装置の利用や、明期中の CO₂ 使用を前提にした蓄熱システムの利用も検討している。

3) 雨水利用システム

本拠点では、投入資源の最小化を図る目的で、太陽光利用型植物工場に雨水利用システムを導入している。具体的には、それぞれのコンソーシアムごとに 50 t または 100 t の雨水利用タンクを設置し、太陽光利用型植物工場の屋根面で集められた雨水を貯留・利用している。雨水の水質は極めて良好であるため、栽培面からのメリットも少なくない。もちろんタンク容量の関係から必要とする用水の全量をまかなうことは困難であるが、液面が低下すると自動的に一定量の地下水が補給されるシステムになっている。

4) トマト残渣処理施設

本拠点では、環境負荷を最小にすることも大きな目標としている。そのため、CO₂ の排出を抑制するため前述のように HP の利用を進めているが、そのほかに基本的に閉鎖循環型の培養液管理システムを採用し、かつ農業利用の抑制、そして植物体残渣の資源化の促進を図っている。

拠点全体のトマトの目標収量は 400 ～ 500 t/ 年になる。その場合およそ 200 ～ 250 t の残渣が発生することになるため、残渣の処理は重要な課題になる。そこでトマト残渣処理システムを導入して、1 日当たり 50 t のトマトの茎葉、根などの残渣を高速発酵させてコンポスト化している。コンポスト化して畑地に堆肥として投入することが考えられるが、栽培培地としての活用や、肥料化して肥料資源の節減を図る方法などの研究開発を進めている。

5) 植物工場データベースの構築・利用

拠点として力を入れていることの一つに、植物工場専用デ

ータベースの構築・利用が挙げられる。現在、太陽光利用型植物工場および人工光型植物工場内に配置した 400 以上の各種センサ類からのデータや、定期的の実施している収量や作物の生育調査などの作物側のデータを集めた独創的な植物工場専用データベースを構築している。実用規模の施設における、物質・エネルギー・労働力等の収支・挙動が網羅的に解析できるように、施設内に効率的に配置されたセンサ等から膨大なデータが組織的に収集されている。

(3) 人材育成と技術研修

植物工場では従来の農業とは異なり、多面的な深い知識と経験を有する栽培管理エキスパートが求められる。このため、本拠点では専用の研修施設を建設するとともに、実際の植物工場を利用して、本分野のエキスパートとなる人材の育成を積極的に行う。技術研修については、植物工場の建設から作物栽培、収穫物の販売などのビジネス全体について研修を行うが、必要に応じて栽培技術や環境制御、販売戦略などの専門的な課題についての研修も行う。通年研修、短期（課題別）研修（年間 1 ～ 2 回）、定期研修（半年、通年など）があり、平成 22 度からは「植物工場基礎知識研修講座」および「普及指導員研修会開催」を開講している。

連絡先

経済産業省

「千葉大学植物工場研究センター」
〒271-8510 千葉県松戸市松戸 648
国立大学法人 千葉大学
大学院園芸学研究科
拠点リーダー 後藤英司
Tel/Fax: 047-308-8843

農林水産省

「植物工場実証・展示・研修事業 千葉大学拠点」
〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 6-2-1
国立大学法人 千葉大学
環境健康フィールド科学センター
拠点リーダー 丸尾 達
Tel/Fax: 04-7137-8312