植物工場技術の研究・開発および実証・展示・教育拠点

(4) 玉川大学

大野英一¹・宇佐見仁英¹・大橋(兼子)敬子¹・布施政好¹・渡邊博之²

¹ 玉川大学学術研究所生物機能開発研究センター 194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1

² 玉川大学農学部生命化学科 194-8610 東京都町田市玉川学園 6-1-1

Research Centers for Intelligent Plant Production Systems in Japan

(4) Tamagawa University

Eiichi ONO¹, Hitohide USAMI¹, Keiko OHASHI-KANEKO¹, Masayoshi FUSE¹ and Hiroyuki WATANABE²

¹*Biosystems & Biofunctions Research Center, Tamagawa University Research Institute,
6-1-1 Tamagawa Gakuen, Machida, Tokyo, 194-8610, Japan*

²*Department of Life Science, Faculty of Agriculture, Tamagawa University,
6-1-1 Tamagawa Gakuen, Machida, Tokyo, 194-8610, Japan*

Abstract

A plant-factory research center is currently under operation at Tamagawa University in Tokyo, Japan. The full research facility, named Future Sci Tech (FST) Lab, has been in operation since May 2010. The main focus of this facility is to explore the possibility of an enclosed artificial lighting plant factory. The total construction area of the plant-factory research center is 801 m² which includes the main cultivation room, the nursery room, the genetic transformation laboratory, the plant photophysiology laboratory, and the space agriculture laboratory. The facility utilizes multiple lighting sources, such as water-cooled high power Chip on Board (COB) Light-Emitting Diodes (LEDs), Hybrid Electrode Fluorescent Lamps (HEFLs) and Hf fluorescent lamps for plant production. New features are being added continuously. For example, newly developed passive air-cooled LED panels have also been introduced. Various leafy vegetables, herbs, medicinal plants, and fruit vegetables are being cultured using this system. Research on the utilization of Information and Communication Technology (ICT) for the plant-factory is also being conducted. In this review, the concept behind this facility and ongoing research are both discussed.

Keywords: chip on board, controlled environment, ICT, LED, lighting system, plant production

はじめに

玉川大学は1929年に設立された玉川学園に由来し、そ

2012年 4月27日受付

2012年 5月25日受理

Corresponding author: Eiichi Ono

(eiichi@lab.tamagawa.ac.jp)

のキャンパスは東京の南西部に位置する町田市にある。2010年3月、玉川大学では、東京都町田市のキャンパス内に植物工場研究施設を完成させ、同年5月より本格的に稼働させた(Fig. 1)。本施設は、閉鎖人工光型植物工場の効率性や事業性を検証する研究施設である。以下では、本施設の概要と現在の研究課題、および今後の抱負について紹介したい。

玉川大学のFuture Sci Tech Lab (FST ラボ) は2階建ての施設であり、その1階部分を「植物工場研究施設・宇

Fig. 1 FST ラボ植物工場研究施設
FST Lab Plant Factory Research Center

宙農場ラボ」が占めている。大学の学内組織としては学術研究所生物機能開発研究センターに所属する研究施設である。2階フロア部分は量子暗号開発などを研究テーマとする「超高速量子光通信」グループの研究スペースとなっている。

なお、建物外部には、LEDによる装飾が施されており、Cosmic Photon Streamsと名付けられたディスプレイはディスプレイデザイン賞2010に入選している。

研究施設の概要

植物工場研究施設・宇宙農場ラボには、植物工場栽培室、育苗室、作業機器室、光植物生理実験室、形質転換植物実験室、宇宙農場ラボ、管理室、作業室、保冷库、見学通路、プレゼンテーションルームなどを備えている (Fig. 2)。

1階の植物工場研究施設は、床面積801 m^2 であり、その中でも植物工場栽培室が115.6 m^2 と最も広い。栽培装置は主としてはNFT水耕を用いているが、一部ではDFT水耕も用いている。植物工場栽培室にはHEPAが導入されており、クラス10,000のクリーンルーム仕様となっている。この主栽培室には白衣、クリーンルーム用シューズ、エアキャップを装着した後にエアシャワーを通過して入室し、作業者からの汚染を最小限にしている。主栽培室には7台の栽培棚が備えられている。

植物工場栽培室に隣接して育苗室と作業機器室が配されている。作業機器室では、播種作業などの軽作業が行えるほか、パッケージング・マシンが備えられており、栽培した作物のサンプルをイベントなどで配布する時に用いている。光植物生理実験室では栽培実験のほか、生化学実験やRT-PCRを用いた遺伝子の発現解析実験も行われている。形質転換植物実験室はP2P仕様であり、前室では遺伝子組換え実験が可能となっている。宇宙農場ラボは、国際宇宙ステーションの「きぼう」を模した独特の外観をしている。各栽培室の外周には見学通路が配されており、プレゼンテーションルームとともに社会への情報発信に有効活用されている¹⁾。

なお、FSTラボに隣接する学術研究所・研究センター棟実験室には、HPLC、GC、ICP-OESといった分析機器類や光学系実験室が設置されており、植物工場研究施設と一体的に運用されている。

本施設の最大の特徴は、人工光源として特にLEDに注力している点であり、ダイレクト水冷式ハイパワーLEDランプと呼ばれるLEDパネルを採用している²⁾。一般家庭やオフィスの照明にLEDが急速に用いられつつある中で、植物工場の光源としてLEDを考慮に入れない事は最早、不自然であるとすら考えられる。ダイレクト水冷式ハイパワーLEDパネルは、1ドットに4つのLEDチップを装備する、いわゆる4in-1のマ

Fig. 2 FST ラボ植物工場研究施設の1階部分レイアウト
Facility layout of 1st floor of FST Lab Plant Factory Research Center

ルチチップ構成を採用し、放熱性の優れた Chip on Board (COB) 構造を採用したパネルである。更に放熱性を高めるために、LED チップをアルミ基板に直接実装し、そのアルミ基板を水冷するシステムとなっている。このアルミ基板の冷却にはチラーの循環水が用いられている。

また、赤色 LED では、AlGaInP/GaP の 4 元系 LED を用い、ピーク波長 660 nm で高出力を出す事が可能になっている。青色 LED の中心波長は 450 nm であり、一部のパネルでは 523 nm を中心波長とする緑色のチップも搭載している。これら各色の出力はそれぞれ独立して調節する事が可能になっている。

人工光源としては、この他 Hf 蛍光灯、HEFL (Hybrid Electrode Fluorescent Lamp) ランプが導入されており、最近では新たにダイレクト空冷式ハイパワー LED パネルも追加された。この様な、人工光源システムに対する積極的な取り組みが、本施設をユニークなものにしているといえる³⁻⁶⁾。

研究テーマ

玉川大学の植物工場研究施設では大きくは、LED を中心とする人工光源を利用した (1) 葉菜類、(2) 果菜類、(3) 根菜類、(4) ハーブ・薬草類、(5) 遺伝子組換え植物の作出・栽培、および (6) 植物工場での生育モニタリング、(7) 宇宙での植物生産を研究テーマとして活動を行っている。

葉菜類の生産は既存の商用化植物工場でも実用化されつつあり^{7,8)}、比較的採算がとり易いと考えられているが、こうした葉菜類の栽培は、本植物工場研究施設でも主力の研究対象となっている。葉菜類については、115.6 m² の広さをもつ植物工場栽培室のスペースを生かして大量のサンプル試験を行える体制にある (Fig. 3)。これは、既存の他の研究施設には無いメリットであると考えられる。レタス、サラダナなどの葉菜類については、閉鎖人工光型植物工場での効率的に大量生産を行うための栽培手法の確立を継続的に試みている^{9,10)}。この課題を解決するにあたり我々は、機能性成分含量が高い植物、すなわち付加価値の高い植物を大量生産することに特にこだわりをもっている。そのために、光質が形態形成・養分吸収や抗酸化物質含量に及ぼす影響について生理・生化学的あるいは分子生理学的に解析を行っている。それらの結果をデータベース化して、高機能性植物を栽培するための厳密かつ合理的な環境制御法の開発に取り組んでいる。そのほか、環境ストレス、とりわけ酸化ストレスをあえて植物にかける事で、機能性成分含量を向上させることを目指した研究を行っている¹¹⁾。

本施設で利用しているダイレクト水冷式ハイパワー LED パネルは、約 25 cm 下で 1,000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ の強光を出力で

きるため、果菜類や根菜類の栽培も可能である。果菜類では、植物工場の中で最も実用化の可能性のある作物として、

Fig. 3 植物工場栽培室
The main cultivation room

Fig. 4 LED 光下で生育するイチゴ
Strawberries grown under LED light condition

Fig. 5 LED 光下で生育するニチニチソウ
Madagascar periwinkle grown under LED light condition

Fig. 6 宇宙農場ラボの減圧チャンバー
Hypobaric chamber in the Space Agriculture Lab

Fig. 7 宇宙農場ラボのクリノスタット
A clinostat cultivation system in the Space Agriculture Lab

かねてよりLED光源でのイチゴの生産に取り組んできている。現在では、安定的に人工光源下でイチゴを連続生産することが可能となっており (Fig. 4), イチゴの糖度やアスコルビン酸濃度、アントシアニン濃度といったイチゴ果実の品質の向上に取り組んでいる¹²⁾。イチゴには一季成りイチゴのほか、種子繁殖性の四季成りイチゴを研究材料として用いている。ハーブ類を材料とした研究では、光質制御によってルッコラやバジルを含め十数種類のハーブ類の芳香成分含量をそれぞれ制御することができないか検討を行っている¹³⁾。このほか、薬用植物の効率的な栽培方法を確立する研究を行っており、特に光質制御による薬効成分含量の制御は可能であるかという点に焦点を当てて取り組んでいる¹⁴⁾。薬草の中でも、抗ガン成分であるビンブラスチンおよびピンクリスチンを含むニチニチソウに関しては継続的に研究を行っている¹⁵⁾ (Fig. 5)。更にニチニチソウには、抗ガン剤の半合成材料として利用価値の高い

Fig. 8 社会への情報発信
Frequent provision of information to the public

単量体アルカロイドも含まれているため、これらの単量体アルカロイドも同時に効率生産させられないか検討を行っている。また現在、ナタネを利用した遺伝子組換え作物の作出が行われており、今後はトモも材料に加える予定である。

工学系の研究としては、ICT (Information and Communication Technology) を利用した知能型植物工場に関する研究が行われている^{16,17)}。知能型植物工場は、栽培ノウハウを知識ベース化し、栽培環境の最適化により収量、品質を最大化するもので、栽培環境の計測、植物の生育モニタリング、および知識に基づく環境制御が重要となる。栽培環境計測では、多数のセンサ群を用いたオンライン計測法、生育モニタリングでは、クロロフィル蛍光、葉面電位計測や画像解析、赤外線画像解析などを利用した植物の生育診断技術の研究が行われている。併せて、生育ステージに合わせた遠隔地からの環境制御法についての開発にも取り組んでおり、これらを統合化した知能型植物工場の確立を目指した研究が行われている。

宇宙農場ラボでは、長期宇宙滞在で想定される減圧環境下での植物生産を考慮し、減圧チャンバーを用いた植物栽培実験を行っている。減圧チャンバーとして、大気圧の1/10まで減圧可能なチャンバーを製作し実験を行っている (Fig. 6)。宇宙農場ラボには、植物に対して擬似的な無重力環境をシミュレートできる2軸クリノスタットも設置されている (Fig. 7)。この他、人工光源下での根菜類の水耕生産に関する研究も行われている¹⁸⁾。

植物工場研究施設では、他の研究機関や民間企業との共同研究に積極的に取り組んでおり、民間企業からの研究員の受け入れも行っている。また、社会に向けての情報発信も積極的に行っている。更に、学部教育は勿論のこと、玉川学園のK-12 (幼・小・中・高校) 教育や、海外提携校等との国際交流にも取り組んでいる (Fig. 8)。

おわりに

玉川大学植物工場研究施設では、植物工場を構成する要素技術の開発や評価、あるいは効率的な栽培技術、生育のモニタリング技術の確立といった中・短期的なテーマとともに、植物生理学的知見の獲得や、宇宙での植物生産に関する基礎研究といった長期的な視野に立った研究を行っている。今後も本研究施設では、中・短期的な課題と共に、植物生理学的な基礎研究や、宇宙での植物生産などの長期的な夢のある研究課題を同時に追求する事で魅力ある施設として考えている。

摘 要

本稿では、玉川大学における植物工場の研究施設の概要を示した。また、現在までの研究テーマについて概説するとともに社会への情報発信や教育への取り組みについて述べた。また、今後の抱負についても記載した。

引用文献

- 1) 渡邊博之. 玉川大学の植物工場研究の取り組み. 農耕と園芸 66: 25–28. 2011.
- 2) 渡邊博之, 宇佐見仁英, 大橋敬子, 大野英一, 布施政好, 木村数男, 太田幸彦, 熊野滋子. ダイレクト水冷式ハイパワー LED ランプを用いた植物栽培システム—玉川大学 LED 植物工場研究施設の機能—. In: 日本生物環境工学会 2011 年札幌大会講演要旨. 札幌. 9 月 6 日–8 日. 66–67. 2011.
- 3) Ono E, Usami H, Fuse M, Watanabe H. Operation of a semi-commercial scale plant factory. In: 2011 ASABE Annual International Meeting. Louisville. 7–11 August, ASABE paper number 1110534. 2011.
- 4) Ono E, Watanabe H. Design and construction of a pilot-scale plant-factory with multiple lighting sources. In: 2010 ASABE Annual International Meeting. Pittsburgh. 20–23 June, ASABE paper number 1008799. 2010.
- 5) 渡邊博之. 玉川大学の植物工場開発の取り組み. 農林水産技術研究ジャーナル 34: 35–37. 2011.
- 6) Watanabe H. Light-controlled plant cultivation system in Japan—Development of a vegetable factory using LEDs as a light source for plants. Acta Horticulturae. 907: 37–44. 2011.
- 7) 渡邊博之. 光環境をコントロールした植物工場と LED の利用について. 食品工業 53: 89–95. 2010.
- 8) 渡邊博之. 人工光型植物工場の現状と今後の展望. 電気協会報. 1036: 7–13. 2011.
- 9) 荒井みち代, 雨木若慶, 渡邊博之. LED 単色光照射がリーフレタスの養分吸収に与える影響. 園芸学研究. 11(別 1): 376. 2012.
- 10) 大嶋泰平, 雨木若慶, 大橋敬子, 渡邊博之. LED 青色光の照射割合がレタスの生育, 葉形, および品質に与える影響. In: 日本生物環境工学会 2011 年札幌大会講演要旨. 札幌. 9 月 6 日–8 日. 294–295. 2011.
- 11) 森 直哉, 子鹿真央, 大前 薫, 大橋(兼子)敬子, 大野英一, 雨木若慶, 渡邊博之. 過酸化水素処理がリーフレタス ‘レッドファイヤー’ の生育や抗酸化物質に及ぼす影響. In: 第 53 回日本植物生理学会年会要旨集. 京都. 3 月 16 日–18 日. 361. 2012.
- 12) 齊藤竜太, 菅谷美波, 脇 孝一, 雨木若慶, 渡邊博之. 光質の違いが種子繁殖性四季成りイチゴの苗の生育および果実収量に及ぼす影響. 園芸学研究. 11(別 1): 370. 2012.
- 13) 小川瑛利子, 雨木若慶, 大橋敬子, 渡邊博之. 異なる光質がシソとルッコラの芳香成分に及ぼす影響. 園芸学研究. 10(別 2): 509. 2011.
- 14) Watanabe H, Namiki K, Nemoto S, Tajima M, Ono E, Amaki W. Effects of light qualities on geranium production of *Geranium thunbergii*. Acta Horticulturae. 907: 111–114. 2011.
- 15) 福山太郎, 大橋(兼子)敬子, 大塚みゆき, 高野昭人, 雨木若慶, 渡邊博之. 赤色および青色 LED 光がニチニチソウの生育とアルカロイド含有量に及ぼす影響. In: 第 53 回日本植物生理学会年会要旨集. 京都. 3 月 16 日–18 日. 361. 2012.
- 16) 宇佐見仁英. 植物生産における PSE. In: 第 13 回問題解決環境ワークショップ論文集. 川崎. 9 月 16 日–17 日. 9–12. 2010.
- 17) 眞鍋保彦, 宇佐見仁英, 川田重夫. 植物工場のための PSE. In: 第 16 回日本計算工学会 計算工学講演会論文集. 柏. 5 月 25 日–27 日. F-6-3. 2011.
- 18) 宮内将輝, 大野英一, 渡邊博之. 高出力 LED 光源を使用したジャガイモ暖地向き品種の NFT 水耕栽培. In: 日本生物環境工学会 2011 年札幌大会講演要旨. 札幌. 9 月 6 日–8 日. 260–261. 2011.