

完全人工光型植物工場の事業展開 Commercialization of LED used Plant Factory

大嶋 泰平* 萩谷 宏三**
Taihei Ooshima Kozo Hagiya
山口 哲司*** 遠藤 隆之***
Tetsuji Yamaguchi Takayuki Endo

要 約

当社は玉川大学と産学連携し、「植物工場」を用いた新たなビジネスモデルの構築を進めている。植物工場は、野菜を中心とした作物を施設内で光や温湿度、二酸化炭素濃度、培養液などの環境条件を人工的に制御して季節、場所に関係なく安定生産するシステムである。加えて栽培する光源にLEDを用いることで味や食感および栄養成分をコントロールすることが可能となる。

当社の植物工場事業参入に至る経緯と完全人工光型植物工場の特徴、さらに今後の植物工場事業の方針について報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 植物工場について
- § 3. 当社の完全人工光型植物工場の特徴
- § 4. 植物工場事業の方針
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

2010年10月、当社は玉川大学の研究成果である「ダイレクト冷却式ハイパワーLED」(渡邊博之教授開発)を適用した野菜生産を通じた社会貢献事業をスタートさせた。

当時、野菜に含まれる農薬や気候変動による野菜類の供給不足などが社会問題となっていた。そこで当社は建設業として安全安心な社会環境創りに加え、この「ダイレクト冷却式ハイパワーLED」と自社技術である「省エネ型クリーンルーム構築技術」をはじめとした「FA技術」を適用した植物工場事業に進出することとした。

2011年4月に植物工場の企画設計を開始し、2013年2月から3種類のレタスの市場販売に至った。

§ 2. 植物工場について

わが国の従来型農業は、勘と経験に頼った職人要素が強い分野であり、加えて後継者不足の問題を抱えている。近年、その代替技術として植物工場が注目されている。これは、閉鎖空間内で光や温湿度、二酸化炭素濃度、培養液などの環境条件を人工的に制御して、季節、場所に関係なく野菜を中心とした作物を安定生産するシステムである。気候に左右されないため、栽培技術を標準化することができ、農業未経験者でも生産可能である。

そのため植物工場は農業の活性化および新規農業事業者参入といった、新しい農業ビジネスモデルの創出を促す可能性も持っている。

2-1 植物工場の種類

植物工場には主に2種類ありその違いは栽培光源にある。その特徴を以下に述べる。

- ① 太陽光利用型植物工場 (写真-1)
太陽光を主体に利用し、気候によって人工光を照射するシステムであり、天候により収量の変動はあるものの、葉菜類から果菜類まで幅広い作物が生産可能といった特徴を持つ。
- ② 完全人工光型植物工場 (写真-2)
栽培する光源に完全に人工光を用いるシステムであり、葉菜類を中心に天候に左右されず狭い土地で大量に生産することが出来る特徴を持つ。

その中でも、栽培環境条件を好適に制御することで成

* 技術研究所地球環境グループ

** 株式会社サイテックファーム

*** 新規事業推進部

長速度を高め、且つ安定的に植物生産が可能な完全人工光型植物工場に期待が寄せられている。

2-2 人工光による植物栽培

植物の生育には以下に示す①～⑥の環境要素が重要であり、完全人工光型植物工場はこれらの要素を人工的に制御し、植物の安定栽培を行うことが可能となる。

- ① 栽培光（照射波長，照射量，照射時間）
- ② 温湿度
- ③ 養分（窒素，リン酸，加里など）
- ④ 生菌数
- ⑤ CO₂量
- ⑥ 風速

現段階の完全人工光型植物工場では、養液栽培が可能で、且つ栽培周期が短いものが栽培品目として挙げられている。主な生産物は葉菜類であり、リーフレタスやサラダ菜，ミツバ，ハーブ類が生産されている。その中でもリーフレタスの需要は高く，食生活の様々な場面で利用されている。露地栽培におけるレタス生産は，気候や病害虫により生産量が大きく左右されるため，農薬を使用せざるを得ない状況となっている。近年，過剰な残留農薬が農産物から検出されたことにより，消費者の無農薬，減農薬志向が高まっており，無農薬栽培と，安定した栽培・供給が可能な植物工場でのレタスの生産の要求は高まっている。

2-3 光と植物の関係

植物は生育するために全ての波長を必要とせず、主に赤色光と青色光を利用している。二つの光の主な役割を以下に挙げる。

- ① 赤色光（660 nm 付近）
主に光合成（糖分の生産），発芽，開花，緑化
- ② 青色光（440 nm 付近）
主に成長・分化（普通の細胞が根や花芽に変化すること），着色，花芽分化促進や，抗酸化能や葉草の薬効成分といった機能性成分の向上

例に赤系レタスを赤色光と赤青色光で栽培した写真を示す（写真-3）

- ① 赤色光で栽培したレタス：写真-3（左）
赤色光で栽培すると大きくなるものの，赤系レタスとはいえ着色はされない。
- ② 赤青色光で栽培したレタス：写真-3（右）
赤色光に青を混ぜた光で栽培することで，形態が小さくなり葉にポリフェノール（赤色の成分）が蓄積される。

例えば，葉に赤みをつけたい場合は，青色光を照射する。際立たせたい要素に寄与する波長の光をピンポイント



写真-1 太陽光併用型植物工場（農林水産省 HP から引用）



写真-2 完全人工光型植物工場（農林水産省 HP から引用）



写真-3 赤色光で育てた赤系レタス（左），赤青色光で育てた赤系レタス（右）

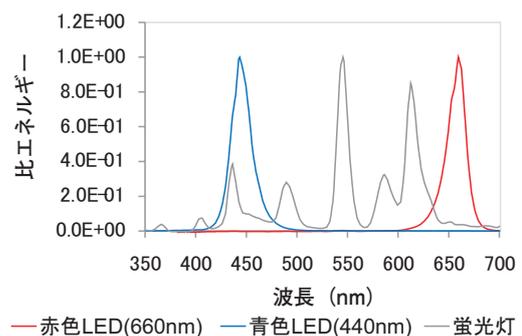


図-1 蛍光灯とLEDのスペクトル比較

トに照射することで生育をコントロールさせることができるのである。

栽培光を変化させた実験では、ハーブの芳香成分といった、植物の機能性成分の向上が報告されており、光による多くの作物の生育制御の可能性が期待されている。

2-4 次世代光源 LED の特徴

現在、日本国内で 127 箇所の完全人工光型植物工場が稼動しており、栽培光源として蛍光灯や、高圧ナトリウムランプが使用されている（2012 年 3 月三菱総研調べ）。栽培光源としての蛍光灯や高圧ナトリウムランプは、イニシャルコストは低く抑えられるというメリットがあるが、ランニングコストが高くなるというデメリットを持つ。そこで次世代の栽培光源として発光ダイオード（Light Emitting Diode, LED）光源が注目されている。

LED と LED を使用した植物工場の特徴を示す。

- ① 省エネルギー、長寿命
→ LCC の低減が可能
- ② 蛍光灯と比較して雑多なスペクトルは無く、幅狭い光スペクトルを持つ（図-1）
→植物の特徴付けが可能
- ③ ・サイズが小さく、軽量
・熱線域の光スペクトルを含まないため、近接照射が可能（写真-4）
→設備上スペースの有効利用が可能

2-5 機能性について

近年、野菜の品質の要素の一つとして、抗酸化活性等の機能を有する成分が注目されている。抗酸化成分の中でもビタミン C とポリフェノールに注目して、栽培光質の変化が赤系リーフレタスのに及ぼす影響について分析した結果を以下に示す。条件は表-1 に示した。

- ① ビタミン C（アスコルビン酸）
図-2 に光質の変化がアスコルビン酸量に及ぼす影響の結果を示す。青色光の増加に伴って増加する傾向を示した。しかし青色光の割合が増えるに従い、増加率は少なくなるため、青色光を過度に照射してもビタミン C は増加しないことが考えられる。
- ② ポリフェノール（アントシアニン）
図-3 に光質の変化がアントシアニン量に及ぼす影響の結果を示す。青色光が 10% を 30% に変化させると 2.5 倍近くアントシアニン量は増加することがわかった。これは青色光がある程度の量に達するとストレスとなり、植物に抗酸化成分を作らせたと考えられる。



写真-4 LED による近接照射

表-1 実験概要

試験作物	サニーレタス
栽培期間	21 日間
試験条件	FL 区 : 白色蛍光灯区
	B0 区 : 赤色成分 100% 青色成分 0%
	B10 区 : 赤色成分 90% 青色成分 10%
	B30 区 : 赤色成分 80% 青色成分 20%
	B50 区 : 赤色成分 50% 青色成分 50%
計測項目	アスコルビン酸（ビタミン C） ポリフェノール（アントシアニン）

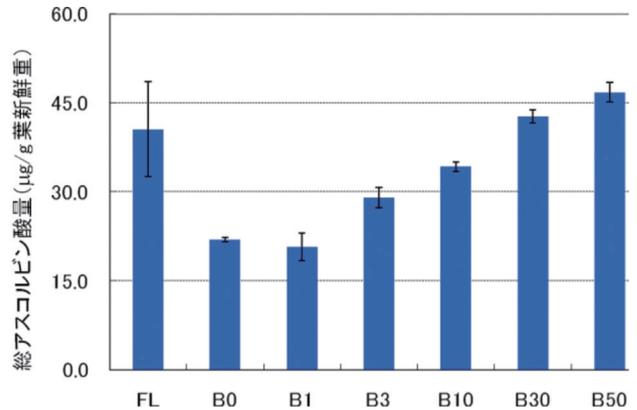


図-2 光質の変化が及ぼすレタスのアスコルビン酸への影響

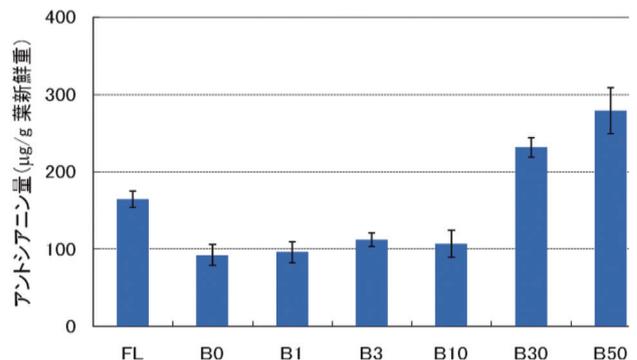


図-3 光質の変化が及ぼすレタスのアントシアニンへの影響

§3. 当社の完全人工光型植物工場の特徴

2012年、玉川学園内に建設した当社の植物工場第一号「サイテックファーム TN Produce」(写真一5)の特徴について説明する。

(1) 栽培規模

2012年現在、「サイテックファーム」は1日に600株のリーフレタスを生産する能力を持っている。栽培から収穫までの期間は、苗の植え付けから15日間の栽培の後、収穫となる。現在は1階の栽培スペースの半分しか使用していない(図一4)が、2015年にはレタス以外の農作物も視野に入れた1日3900株を生産するシステムを稼働させる予定である。規模拡大にあたり、サイテックファーム1階と2階の将来栽培室スペースに栽培棚を増設する(図一4, 5)。

(2) ハイパワーダイレクト冷却式LEDの採用

実装したLEDパネルの特徴を以下に示す。

- ① LEDランプの出力は一般的なLEDと比較して約10倍の性能を持つ。LEDチップの耐久性は、ハイパワー連続照射という条件で10年以上使用しても必要な光量を維持する性能を確保した。
- ② 光変換効率の高いLEDチップの使用により、照明電力費を45%削減した。
- ③ 調光可能な赤青緑の3色のLEDチップを栽培光源に採用したため、味や食感、機能性の成分といった野菜の特徴をコントロールすることが可能となった。

(3) 多段式水耕栽培システムの採用

土を使わず養分を水に溶かした液で栽培する「水耕栽培」のシステムを導入した(写真一6)。特徴として肥料分がリアルタイムで数値として表示されるため、安定した生産が可能となる。さらに薄膜水耕栽培方式を採用し、6段の多段式の栽培が可能となった(写真一7)。このことで、栽培面積は同じ床面積あたり6倍の作物を栽培することが出来るようになっている。

(4) 高機能化

図一6にレタスの総合的な抗酸化力の結果を示す。

LED農園産のレタスは露地のものと比較すると2.6倍、他の植物工場産(蛍光灯栽培)のものと比較すると3.5倍の抗酸化能を持つレタスの生産が行える。2-5で記述した通り、抗酸化能を高めるには、光質のバランスを調節する必要がある。蛍光灯や、太陽光での栽培した野菜では、品質を調節するのが困難とされる。今回のこの結果は、サイテックファームのLED特徴(§3.(2)③)が反映された結果である。



写真一5 サイテックファーム外観



図一4 一階スペース



図一5 二階スペース



写真一6 水耕栽培の様子

(5) 環境制御

2-2で挙げた環境項目を全て制御できるシステムである。これらを厳密に制御することで一定の品質を達成することが出来る。栽培室内のクリーン度は米国連邦空気清浄度基準でクラス 100,000 レベルを維持できるフィルターを実装している。そのため、空気中の微粒子および細菌は少ないため、栽培している野菜に付着する細菌数を抑えることが可能となる。

実際当植物工場では栽培しているレタス3種類（グリーンウェーブ、レッドファイヤー、フリルレタス）の一般細菌数を分析した結果、全て細菌の集落数が300個以下（作物分析における測定限界値）となった。露地野菜と比較すると300分の1以下の細菌数であった（表-2）。



写真-7 多段式栽培棚

(6) 全自動化システム

この栽培室の全自動化システムは大きく以下の二つに分けられる。

- ① クレーンを用いた苗を植えたトレイの入庫および収穫時期の野菜の出庫システム（図-7）
- ② 上記トレイを15日間かけて栽培棚を移動する自動移動システム

以上の二つを組み込むことで、本植物工場は「人は動かさず物（野菜）を動かす」といった工業的な野菜生産システムに構築することができた。

この自動化システムを導入することで、労力の削減、人件費の節約となり、更には農業では難しいと考えられている自動化の一助となる。

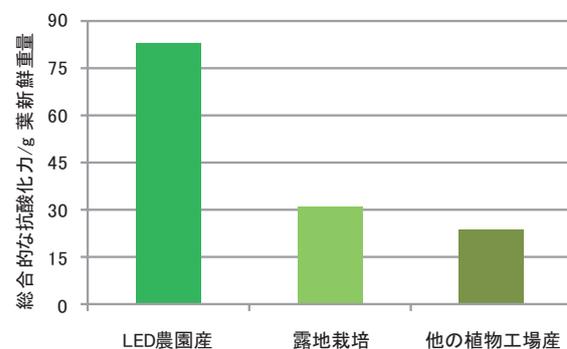


図-6 各レタスにおける総抗酸化活性の比較

(7) ICT 技術の導入

本植物工場には約 50 台の環境監視センサーがあり、栽培環境を常に監視・自動制御し、野菜に最適な環境を維持することが可能になっている。

このシステムの導入による野菜の生育と栽培環境の可視化は、栽培のマニュアル化・システム化を達成することが可能となった。

将来的にはクラウドコンピューティングを採用することで栽培から流通まで一元管理したサプライチェーンマネジメントシステムの構築を目指している。

表-2 露地野菜とLED農園産の一般細菌数の比較

		一般細菌集落数
露地野菜		※ ¹ 100,000 個程度/g
LED農園産	グリーンウェーブ	※ ² 300 個以下/g
	レッドファイヤー	※ ² 300 個以下/g
	フリルレタス	※ ² 300 個以下/g
上水		※ ³ 100 個以下/cc

※1 文献より引用

※2 2012年12月食品分析センター調べ

※3 厚生労働省水質基準

(平成15年厚生労働省告示第261号)

§5. 植物工場事業の方針

5-1 本事業の目的

植物工場の事業化にあたり、産学連携の事業化スキームを図-8に、2つのタスクを以下に示した。

タスク1

玉川学園内サイテックファームにおいてレタスを生産し販売を行う。安定的で高品質な農作物の生産・販売を行い、信頼されるブランドに築き上げる。そのために実



図-7 クレーンによる野菜トレイの搬送

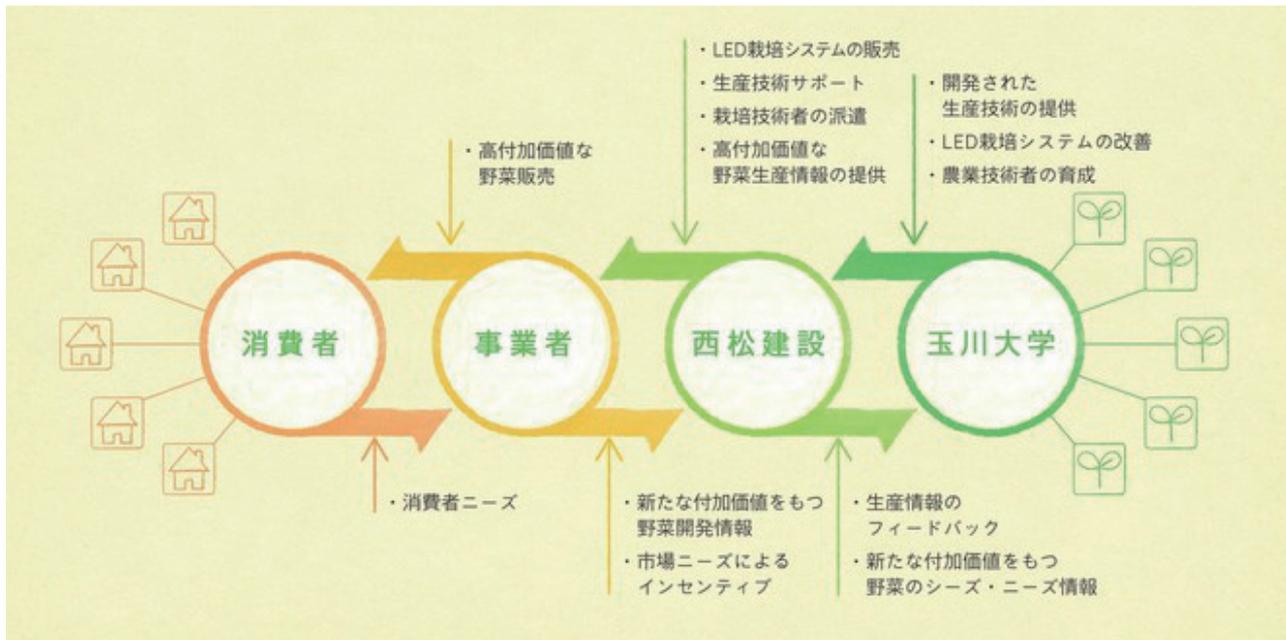


図-8 産学連携による事業化スキーム

務を通して事業化にあたり問題となる点の把握，解決方法を検討し，ハード，ソフトともにシステム構築のブラッシュアップを図る。

タスク 2

植物工場ビジネスモデル（普及型）を企画，実証し，植物工場ビジネスに取り組もうとする事業者，生産者にシステムパッケージを販売し，トータルサポートを行う。

§6. おわりに

玉川大学との産学連携協定に基づき，玉川学園内サイテックファームに完成した完全人工光型植物工場が生産した高品質で安心・安全な農作物を小田急 OX 他の流通店舗等を通じて販売を行う。この産学連携により得られたノウハウを活用した積極的な事業展開を図り，将来は収益の一つの柱に育てていきたいと考えている。

このような植物工場の特徴を存分に発揮し，野菜の栽培を行うためには玉川大学の技術的バックアップが必須である。玉川大学と当社のお互いの専門分野である研究と事業を組み合わせることにより，天候に左右されない未来型農業ビジネスの提案と検証，新しい農業ビジネスの創出ができると自負している。

加えて今後，当社は玉川大学との連携をさらに盤石なものとし，消費者ニーズに継続的に応え，東日本大震災における被災地の産業復興や農業を中心とした地域活性化策に力を注いで行く（図-9）。



図-9 産学連携による効果

謝辞：本技報に掲載した分析の際，技術的指導を頂いた玉川大学農学部 渡邊博之教授，玉川大学学術研究所 荒井みち代助手に厚く御礼申し上げます。

参考文献

完全制御型植物工場（著）高辻正基
 オーム社，2007
 LED 植物工場（著）高辻正基
 日刊工業新聞社，2011
 芽物野菜等の細菌汚染実態調査 小林妙子ら
 宮城県保健環境センター年報，第 26 号，2008