

省エネ型植物工場システムの概要と活用事例

Overview and Case Study of Energy-saving Plant Factory System

元 山 恵 太*

Keita Motoyama

植物工場の最大の課題は、生産コスト低減と生産する野菜の露地野菜との差別化である。筆者らは解析技術を用いし省エネ型の植物工場システムを開発し、このシステムを用いて栽培環境条件を適切に制御することで付加価値が高い野菜の量産にも成功したので解説する。

The biggest challenges faced by a plant factory are how to differentiate open-field vegetables from other types and how to reduce production cost. We have applied analysis technology to develop a plant factory system that can save energy. We succeeded in mass producing high value-added vegetables by controlling the cultivation environment conditions using this system.

1. 人工光型植物工場の特長と課題

近年、地球温暖化や異常気象、自然災害などにより、露地栽培の野菜、および果実類の収穫量・価格が安定していない。TPP（環太平洋戦略的経済連携協定）加入などで輸入野菜などの市場占有率が増えることも予想されるなか、一般消費者だけではなく、中食・外食産業においても、農薬や遺伝子組み換え野菜への不安感から、安心・安全で安定した野菜の入手に関心が高まっている。

そのような背景のもと、天候の影響を受けない屋内環境で、LED（Light Emitting Diode）照明などの人工光を使って野菜などを生産する植物工場の普及に期待が寄せられている。人工光型植物工場の特長として、以下のようない点があげられる。

- (1) 年間を通じて同品質の野菜が供給可能
- (2) クリーンな環境で無農薬栽培が可能
- (3) 光や肥料などで、成分や食感のコントロールが可能
- (4) 多段栽培と促成栽培により高収量化が可能

しかしながら、植物工場の野菜は生産コストが高く、利益確保が難しいため、植物工場事業者のほとんどは厳しい経営状況下にある。

コスト高の主な要因は、主に照明にかかる電気代や空調・水道代などの「光熱費」、栽培システムや空調設備・建屋などの「減価償却費」、管理業務と栽培作業などの「人件費」の3つで、生産コスト全体の約9割を占めている[1]。

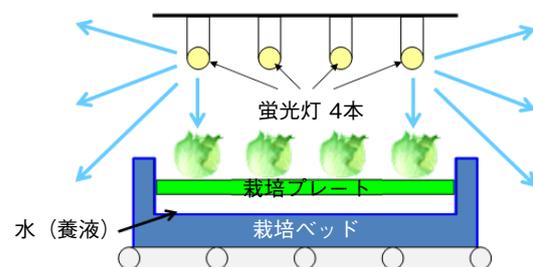
植物工場事業成功における課題は、生産コストの低減と露地栽培では栽培できない高付加価値野菜の産出であ

る。そこで筆者らが社内の製造工場で培ってきた解析技術を用いて、栽培環境の省エネ・均質化を行い、野菜の生産性や品質を損なうことなく、従来の照明エネルギー1/2の植物栽培システムを開発した。以下その内容について解説を行う。

2. 植物工場システムの省エネ化の取り組み

多くの植物工場では、植物栽培に適した温度・湿度に保つため、広大な栽培室全体を、大型空調設備を利用して空調制御している。また野菜を栽培する棚には、光合成に必要な蛍光灯やLEDなどの照明が設置され、所定の時間点灯・消灯を繰り返し、栽培プレート上の野菜に光を照射している。

本来、温度・湿度などの環境を最適に維持するのは、栽培する野菜の周辺だけでよく、照明の光も野菜にのみ照射すればよい。しかしながら、実際には第1図のように野菜のない場所に対する空調制御や光漏れがあり、多くのエネルギーロスが生じている。



第1図 一般的な栽培システム例

Fig. 1 General cultivation system

そこで、野菜の近傍のみを最適な環境に制御する局所コントロールの考え方のもと、光学解析と空調解析を用

* 生産技術本部 環境生産革新センター
Green Manufacturing Innovation Center,
Manufacturing Technology and Engineering Div.

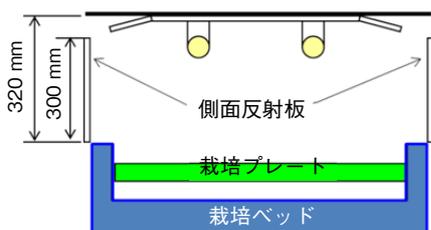
いて、エネルギーのムダを排除した栽培システムの開発を行った。

2.1 光学解析を用いた照明エネルギー半減

照明のエネルギーを半減させるため、第1図に示した蛍光灯の本数を半減することを目標とした。しかし、照明本数を削減すると光量低下は避けられず、生育が鈍化するなどの問題が生じる。

そこで、第2図に示すように、棚外への光漏れを反射板で棚内に反射させ、照明のエネルギーロスを削減する方法を検討した。

光漏れは、反射板を大きくすることで低減することが可能となる。そこで、必要な光量を確保する反射板の大きさを光学解析によって導出した。第1表は、栽培ベッドとフレームの間320 mmに対して、蛍光灯4本の場合と同等の光量 $250 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ 以上となる、反射板の結果(高さ300 mm)である。



第2図 光学解析モデル
Fig. 2 Optical analysis model

第1表 光学解析結果

Table 1 Optical analysis results

側面反射板条件	平均光量 [$\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$]	均斉度* [%]
なし	142	80
平板 高さ300 mm	258	91

*均斉度：最小値/最大値 のばらつき指標

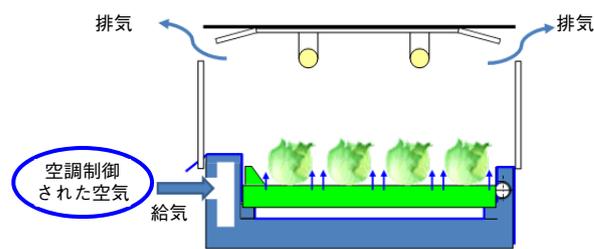
2.2 空調解析を用いた栽培環境の最適化

前述の照明本数の削減により照明からの放射熱も低減するため、空調コストの低減も見込まれる。

しかしながら、反射板で栽培環境を囲うことによって、栽培棚内の風の循環が悪化し熱がこもるため、栽培棚内の温度が上昇する懸念がある。

一般的に植物工場で栽培するレタスの場合、栽培棚内の温度は 25°C 以下で制御することが望ましく[2]、空調解析を用いて栽培環境の温度制御方法を検討した。

結果、第3図に示す栽培棚外から空調制御した空気を取り込み、栽培プレート内の流路を通じて、栽培棚内に給気する方法(局所空調方式)を導出した。

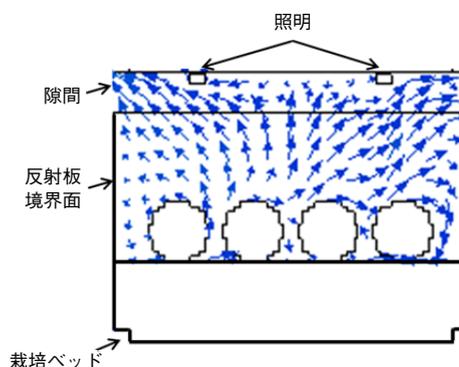


第3図 局所空調システム
Fig. 3 Local air-conditioning system

この空調方式によって、第4図に示すとおり、反射板と栽培棚の隙間から栽培棚の熱を効率よく排気することが可能となる。第2表のとおり、全体空調方式で反射板を設置した状態(条件B)では、栽培棚内部の温度が 25°C よりも高くなる。

一方、局所空調方式(条件C)では全体空調方式(条件A)と同等の最高温度 25°C 以下で制御でき、かつ、温度ばらつきを抑えることが可能となった。

以上の検証により、照明本数の半減によって、照明にかかる設備コストと電気代の半減と実現し、さらに、照明の放射熱も半減するため、空調のランニングコスト削減も可能となる。



第4図 空調解析
Fig. 4 Air conditioning analysis

第2表 空調解析結果

Table 2 Results of air conditioning analysis

	目標値	条件A	条件B	条件C
空調方式	-	全体	全体	局所
反射板	-	なし	あり	あり
照明本数	2以下	4	2	2
栽培棚内最高温度 [°C]	25以下	22.5	25.5	23.0
標準偏差σ [°C]	-	0.81	0.96	0.65

結果、生産コスト約1/3を占める、光熱費のうち照明のエネルギー1/2を実現する、省エネ型の植物工場システムが完成した。

3. 高付加価値野菜の安定量産事例

次に、植物工場のもう1つの課題である、野菜の高付加価値化の事例について紹介する。

植物工場の特長として植物自身の含有成分をコントロールしやすいという点があげられる。その特長を生かした作物の一例として、腎臓病透析患者向けの低カリウム野菜がある。

低カリウム野菜の栽培方法は、育生の初期にカリウムを含む肥料で栽培し、収穫前の一定期間にカリウムを含まない肥料に切り替えて栽培することを特徴とする。結果、一般的な野菜に比べてカリウム量を大きく低減することが可能な栽培方法であり、本システムの実用例として紹介する[2]。

この栽培方法は土を使った露地栽培では困難な栽培方法であるため、低カリウム野菜は植物工場ならではの付加価値が高い野菜である。

しかしながら、カリウムを含まない肥料で栽培する際に、肥料を切り替える前の苗の重量が小さいと、葉先が黄色く変色するなど、カリウム欠乏症という生育障害が発生し、逆に大きすぎるとカリウムが十分低減できないという問題が発生する。栽培環境のばらつきが大きい全体空調方式では均質な育生が極めて困難であり、均質な栽培環境で栽培することが量産化に向けた最大の課題であった。

そこで、前述の局所空調方式を用いた栽培システムで、低カリウム肥料への切り替えタイミングや栽培日数などの栽培条件を最適化した結果、全体空調方式では、生育障害により、1株の出荷重量が50 g~60 gであったのに対して、局所空調方式では、生育障害の発生を抑えることで、出荷重量90 g以上を可能とした。さらに、一般的なリーフレタスに対してカリウム量を1/8にまで低減を実現した。

以上の取り組みにより、業界トップクラスの重量とカリウム低減率を実現した。

4. 今後の展開

当社の均質な植物工場栽培システムをベースに、今後は、光の条件や養液の条件などの栽培環境をより細かく制御し、医療・美容分野で期待され体調改善、疾病・老化予防に効果がある植物由来の抗酸化成分の増大化に取

り組むなど、健康社会への貢献を果たしていく所存である。

参考文献

- [1] (株)総合プランニング 他, 2016年 植物の工業的栽培市場の現状と将来動向, (株)総合プランニング, 大阪, 2016.
- [2] (社)日本施設園芸協会 他(編), 養液栽培のすべて 植物工場を支える基本技術, (株)誠文堂新光社, 東京, 2012.