

栽培施設における LED 照明の配置設計 Spatial arrangement of LED in cultivation facilities

○森谷慈宙*・鈴木雄大*・伊高健治**
Moritani Shigeoki, Suzuki Yudai, Itaka Kenji

1. はじめに

植物工場では、LED 照明などの電気代などによりランニングコストが高くなり、経営の圧迫要因となっている。LED 消費電力の削減を行うためには栽培面以外への到達光を出来るだけ避ける必要がある。そのために LED 設置高を下げるなどの工夫が必要だが、下げ過ぎると光源直下の照度が高くなり、照度分布の偏りが大きくなる。このため、LED 単一のワット数を抑えて設置個数を増やし、適切な配置を行っていく必要がある。下向き光源において、観測点との距離が同じであっても、光度は真下を最大、真横を最小とする配光特性が見られる。そこで、本研究では LED と観測点との幾何学的位置関係や単一 LED が有する光度、そして配光特性などから、栽培面への照度分布や到達光のロスが最小となる LED 配置について検討を行う。さらに LED の向きを自由に変化させた場合についても検討を行う。

2. 実験方法

1) 理論式

光度を $I(\text{cd})$ 、直接照度（照度）を E 、光源からの距離を $h(\text{m})$ とすると、照度は $E=I \times h^{-2}$ で表される。図 1 に傾き光源における照度分布の模式図を示す。x 軸及び y 軸に対してそれぞれ ω 、 $\varphi(\text{rad})$ 傾いた光源 P において、光軸と XY 平面との交点を R とする。また、光軸から θ 角で XY 平面に投影される形状は楕円形となる。一般的な光源の配光特性は、光軸方向の光度を I_0 とすると、 θ 方向の光度 I_θ は $I_\theta=I_0 \times \cos\theta$ と定義される。この定義式と図 1 の幾何学的関係から、Q 点における XY 平面に垂直下向きの照度 $E_{Q\downarrow}$ は次の 1 式のように表すことができる。

$$E_{Q\downarrow} = I_0 \times \frac{\cos\theta}{|PQ|^2} \times \frac{h}{|PQ|} = I_0 \times h \times \frac{\overline{PR} \cdot \overline{PQ}}{|\overline{PR}| |\overline{PQ}|^4}$$

本実験では、植物栽培をする際に基準となる光量子 ($\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$) を照度に相当するものとして、計算を行うことにする。

2) 配光特性

LED の配光特性を調べるために、青、赤、緑の 3 種類の LED を用いて、スタンドに LED を設置し、直下に光量子センサを設置した。LED の消費電力を約 10W と一定に保ちながら、LED の角度を $0\sim 80^\circ$ まで 10° ずつ傾け、光量子センサが同じ値をとるような高さを調べた。LED の発熱はファンにより排熱を行った。

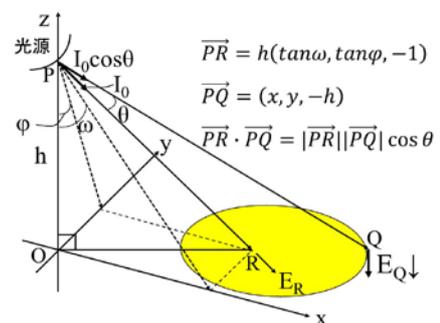


Fig.1 照度分布の模式図

*弘前大学農学生命科学部 Faculty of Agriculture and Life Science, Hirosaki University, **弘前大学地域戦略研究所, Institute of Regional Innovation, Hirosaki University キーワード: LED, Cultivation facility

3) シミュレーション

最適な LED 照明の設置を検討するために、60cm×360cm の大きさの栽培面を想定して、実験で得られた配光特性などを用いて、照度分布算出のためのシミュレーションをエクセルで行った。LED の個数を 1~24 まで変化させ、個数ごとに最も効率が高くなるような LED の設置位置と角度を決定した。ここで目的変数である効率は、栽培面に降り注ぐ光量子の和($\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}$)を全 LED が有する光量子量 $\pi h^2(\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1})$ で割ったものとした。変数は、LED 設置高(m)と 1 個当たりの LED 消費電力(W)とした。制約条件は、栽培面に降り注ぐ光量子を、葉菜類の栽培基準を満たす平均 $140(\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{m}^{-2})$ とした。追加条件として、栽培面に降り注ぐ光量子のうち、最大と最小がこの平均の $\pm 15\%$ 以内に収まるように設定した。

3. 実験結果

1) LED の配光特性

LED の光度は、消費電力を 10W に保ったにもかかわらず、光度 I_0 は、赤>青>緑の順であった。青色 LED の場合、 h が 10cm 未満の低い時を除いて平均 $I_0=0.268(\mu\text{mol}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{W}^{-1})$ となった。また、青、赤、緑いずれの LED においても、配光特性は、 $I_\theta=I_0 \cdot \cos\theta$ で表すことが出来た。

2) LED 配置に対する照度効率

図 2 は青色 LED におけるシミュレーションの結果をまとめたものである。LED 設置分布を栽培面の長辺に沿って一列等間隔で下向きに設置したときは、LED の個数を増やしても効率は約 4%と一定だった。両側短辺に近づくに従って設置密度を大きくした不等間隔の場合、LED の個数を増やすと効率も増加し、LED24 個のときは約 50%となった。また、LED を栽培面の中央線より傾けて設置したときは、不等間隔・下向きに比べて効率が約 10%高くなり、LED24 個では約 60%まで向上した。

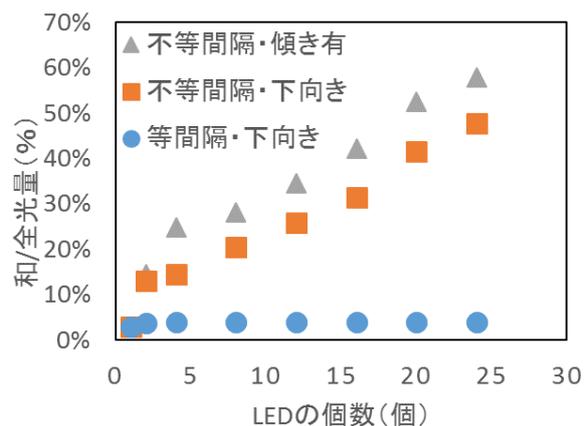


Fig.2 シミュレーション結果

4. まとめ

シミュレーションの結果、本研究で設定した栽培面の寸法では、LED を等間隔で置くより、両側短辺に近づくに従って設置密度を大きくする不等間隔で設置したほうが効率が良くなり、また、LED を栽培面の中央線より傾けて設置したほうが効率が高くなるといえる。また、LED の数をさらに増やせばより効率が高くなると予想される。なお、栽培作物が成長すると光の当たり方も変わるので、LED を高くしたり、栽培面を下げたりするという対策が必要である。

【参考文献】

- 1) 一般社団法人照明学会 (2012) 『照明工学』 オーム社
- 2) 森康裕・高辻正基 (2013) 『LED 植物工場の立ち上げ方・進め方』 日刊工業新聞社