

LED 植物育成ライト購入の手引き

ライアン・ミッチェル、チャーリー・ソラディ

LEDを採用する栽培用照明の増加にともない、仕様定義者やエンドユーザーは、プロジェクトに対して最適な照明器具を選定するための知識を身に付ける必要がある。本稿では、最良の結果を得るための仕様書の見方や性能の計算方法に関する指針を示す。

地球上の人口は2050年までに100億人に達すると予測されており、それだけの人口に対応する水、エネルギー、食糧の確保について懸念が高まっている。現在の水供給を維持し、人類を養うために十分な食糧を生産するには、農業分野で複数の異なる対策を導入しなければならない。この問題に対する潜在的な解決策の1つは、水耕栽培、アクアポニックス（水産養殖と水耕栽培を組合わせたシステム）、空中栽培によって水中で植物を栽培することである。LEDを採用する栽培用照明は、

屋内、特に倉庫での作物生産を促進する優れた付随技術としての役割を担う。温室栽培に対し、倉庫では、垂直農業または都市農業として知られる栽培が行われている。

3つの水栽培システムは、土壌を必要としない農業方法で、一般的な屋外農法と同じ面積で5倍の量の食糧を生産することができる。また、屋外で行われるかんがい農業と比べて使用水量は90%以上少ない。食料と水の確保がおそらく、人類が直面する最大の将来課題であるため、これらのシステム

はその懸念をおおいに緩和するものとなるだろう。

このような農業システムに対してよくある疑問の1つが、土壌栽培と比べた場合の生産量である。上述のとおり、これらのシステムは屋外農法と比べて、同じ面積で約5倍の量の食糧を生産することができる。給水や照明用のシステムを棚に積み重ねられることから、空間を凝縮して効率的に利用することができる。加えて、各作物に適切な光スペクトルを供給するように設計されたLED植物育成ライトを利用す



図1 直線形LED植物育成ライトモジュールの例。各モジュールに異なる色のダイオードが装備されている。

ることにより、一般的な植物が太陽から受けるよりも多くの光合成有効放射 (PAR: Photosynthetic Active Radiation) が供給される (図1)。たとえば、アイオワ州で最も著名な農園地区であるマウントバーノンでは、光合成に有効な光を夏には1日あたり最大で約14時間浴びるが、冬にはそれが8時間にまで低下する場合がある。栽培用固体照明 (SSL: Solid State Lighting) を装備すれば、植物は毎日最大限に光合成を行うことができる。栽培者は、任意の光源にともなう熱エネルギーを過度に作物に与えないようにすることにだけ注意すればよい。従って、植物に光を当てない時間を毎日設ける必要がある。放熱量が低く、動作に必要な電気料金も低いLEDは、農業における全く新しい扉を開いている。

経済的メリットの享受

一般的な屋外農法よりも生産量が高いことがわかったところで、次の疑問は、これらの栽培システムの経済的効率である。簡単に答えるならば、経済的効率は「高い」ということになるが、但し書きを添えなければならない。つまり、植物の種類、販売地域、電気料金という3つの主な項目に依存するという但し書きである。

農業に従事しない人々は、医療用や娯楽用の大麻だけが「お金になる作物」だと思っているかもしれない。大麻は栽培に数か月を要し、収穫までに数フィートの高さまで成長するので、レタスやマイクロリーフといった他の作物と比べて水平方向にも垂直方向にも大きな場所をとる。屋内農家は、葉物野菜を4段または5段に「ラックアンドスタック」して、1か月に数回作物を収穫することができる。カリフォルニアのレタスは米国中に出荷され、ロメ

インレタス一株あたりの卸売価格は一般的に約1.50ドルである。大陸を横断してレタスをディーゼル燃料で輸送するのにかかるコストは一株あたり約0.30ドルであるのに対し、栽培用SSLを使用すれば同じ一株のレタスを0.15ドル未満で栽培することができる。地元でとれた新鮮な有機野菜が現在、LEDによってかつてないほど手頃な価格で手に入るようになっている。

建物照明の場合、LEDメーカーやソリューションプロバイダーは、電気料金が平均よりも高い地域において既存建物の照明の取り替えを推進しようと考えることがよくある。kWhあたりのコストが高いほど、電気料金の削減による初期コストの回収が短期間で完了する。屋内農業の場合は、その逆が成立する。kWhあたりのコストが低いほど、収穫植物の売上原価が低くなるためである。オフピーク時間 (通常は深夜から早朝) はピーク時間 (日中から夕方にかけて) よりも電力需要が低く電気料金が低いので、次世代の屋内農家は、オフピーク時間にLEDを点灯して、天窗や採光窓から差し込む日中の自然光を必要に応じて補うことができる。余った倉庫で、LEDといずれかの節水型栽培システムを使用することは、水、エネルギー、食糧の確保という問題を克服するための費用対効果の高い手段である。

植物育成ライト購入の手引き

栽培プロジェクトに対して適切な植物育成ライトを探すのは、難しくて気が減入る作業かもしれない。ワット数、波長、ルーメン、PAR、マイクロモル (μmol)、光合成光量子束密度 (PPFD: Photosynthetic Photon Flux Density) といった単位は、植物育成ライトの品質と効率に関する誤解を招くこ

とがよくある。ではどうすれば自分のニーズを満たす植物育成ライトが選択できるのだろうか。以下では、仕様書の見方と性能の計算方法という2つの主な項目に分けて、購入時の指針を示したいと思う。

仕様書の見方。まずは、重要でない項目を取り上げよう。ルーメンは、照明の仕様書に一般的に記載されている単位である。ルーメンの問題は、それが多様なエネルギー波長 (可視光出力) に対する人間の目の応答性の指標であるという点にある。照明企業が、ルーメン数を強調して自社の植物育成ライトの販売を促進しているとすれば、それは販売者としての資質に欠けた行為であり、購入者の貴重な時間を無駄にしているといえる。

照明の正しい色を理解することが、すべての栽培ベンチャー事業における重要な側面である。フルスペクトル、波長の組合せ、特定波長のどれを探している場合でも、正しい色を把握することが植物の最適な成長に不可欠である。製品の購入先候補である企業の照明専門家に質問するか、特定の植物に最適な波長に関する学術調査を行う必要がある。それによって、高い収穫量と最適な成長を促進することができる。

ワット数の比較も、栽培用照明の判断に多くのユーザーが使う手段である。ワット数だけを見ることの問題は、照明の放射効率が製品ブランドによって大きく異なる可能性があるという点である。あるメーカーの植物育成ライトの方がワット数は高いが、光合成に有効な光の出力で比べると効率が低いということがあり得る。そのため、ワット数が高い照明器具が必ずしも栽培用に有効で有益であるとは限らない。

次は、マイクロモル、PPFD、PARという性能と効率の指標を見ていこう。

マイクロモルは、放射される光量子の数を表す。PPFDは、1秒間の単位面積あたりの放射光量子数である。PARは、光合成を促す400～700nmの可視域に放射される光合成に有効な光の量である。どれも、植物育成ライトを探す際に検討する指標として同等に重要であるように思われるが、PPFDには、光合成に有効な光と面積の両方が含まれている。そのため、異なる栽培用照明製品を非常に効率的に比較することができる (<http://bit.ly/2fWkMA1>)。

PPFDで1つ注意しなければならないのは、測定に使われた領域である。PPFDのピーク値(PPFD= $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$)

と平均値を確認してほしい。これらの指標により、植物育成ライトの真下と周辺領域に、光合成に有効な光がどれだけ放射されるかがわかる。照明の真下ではPAR値が非常に高いが、周辺領域ではPARが著しく低下する照明が存在するためである。従って、各植物育成ライトについて、栽培を行う領域全体のPPFD平均値を確認することが非常に重要である(PPFD=PAR/ m^2)。PPFDの分布が均等であれば、植物の成長をさらに促進することができる。

性能の計算方法。複数の植物育成ライトのコストと性能を比較するには、以下の手順に従って必ず同一条件で比較を行う必要がある。

ステップ1:照明メーカー、供給業者、または営業担当者に問い合わせ、特定のシナリオにおける具体的なニーズを満たすかどうかという観点で、技術に関する情報提供を求める。14ページの表に、照明器具を比較するための仕様例を示す。

ステップ2:簡単な計算を行う。まず、照明ソリューションのコストを、平均PPFDレベルが得られる対象面積で割り、植物育成ライトの単位面積あたりの設備コスト(cost/ ft^2)を算出する。続いて、ソリューションのワット数を対象面積で割り、単位面積あたりのワット数(W/ ft^2)を算出する。最後に、技術を比較する。単位面積あたりのコストとワット数が最も低いものが最有力候補である。

ここで、米インディペンデンスLEDライティング社(Independence LED Lighting)の例(図2)に基づいて、計算のためのコスト基準を定める。LED植物育成ライト「GS1250」は、4×8フィートの直線形モジュールラックシステムで、対象面積は60平方フィート(6×10)、消費電力は1250Wである。このシステムは、2台の1000Wのメタルハライド(MH: Metal Halide)ランプ、または4台の400Wの照明器具(一般的にバラスト係数[BF: Ballast Factor]を考慮するとそれぞれ450W以上)に置き換えることを目的に設計されている。この育成ライトシステムで240平方フィート(ft^2)の対象領域をカバーするには、4ラックが必要である。ラックあたりのコストは選択する波長とダイオードによって異なるが、1750～2500ドルの間になることが多い。

ここでは、2000ドルとし、4ラックで合計8000ドルとする。ラックあたりのワット数は1250Wで、栽培用照明ソリューションの対象面積全体では4ラック

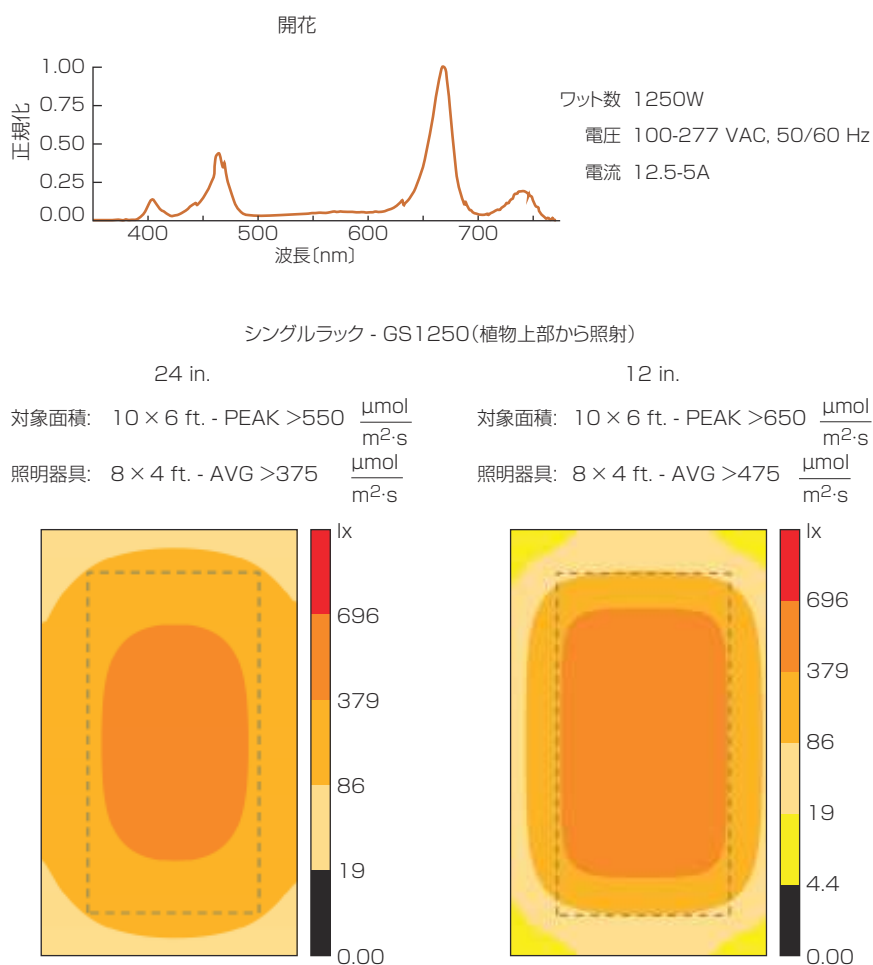


図2 トマトから合法医療用大麻までの植物栽培用に設計されたLED栽培用照明器具の波長例。

最先端農業に組み込まれるSTEM

植物育成ライトを採用する高度な農業システムを利用する場合の教育的メリットは非常に大きい。科学、技術、工学、数学（STEM: Science, Technology, Engineering, and Math）は、米国をはじめとする国々の多くのK-12（米国の幼稚園から高等学校卒業まで）の学校や大学の重点項目である。水耕栽培やこれに似たその他のシステムには、STEMのあらゆる側面が組み込まれており、教育機関での活用に非常に効果的な題材となる。照明については、植物の種類によって光合成に最適な波長が異なることを学ぶことができる。また、独自のシステムをゼロから組み立てれば、水がどのように流れてpHや水温が維持されるかを理解し、電気伝導率（EC: Electrical Conductivity）を監視して水中に含まれる肥料塩の量を調べたりすることができる。このような実験は生徒らの興味を大いに引き付け、これらの農業システムの背景にある科学をさらに深く理解するための素晴らしい手段となる。

栽培用照明を利用する水耕栽培、アクアポニックス、空中栽培システムを、特に都心にある学校で活用することのもう一つの大きなメリットは、その潜在的な栄養価である。多くの文化において、子供はますます太り気味や肥満になりやすい傾向にあり、より健康的に栄養を摂取できる選択肢が必須である。農業システムを学校内に配置すれば、生徒らは新鮮な野菜を直ちに手に入れることができる。さらには、自分たちの手で収穫した野菜をそのまま消費することができる。日常的に野菜に直接関わっていれば、青少年が毎日の食事に野菜を取り入れようと



図 LED栽培用照明を活用する屋内農業システムを利用して、教育施設内で栽培された作物は、学習機会を提供するとともに、学内における生徒らの栄養も改善する可能性がある。

する可能性は格段に高まる。より良い栄養が得られること、そして、より体験型の科学カリキュラムになることは、これらのシステムを学校で活用する必要があることを示す理由の例である。

このように、あらゆる要素が盛り込まれた栽培システムには多数のメリットがあることから、次世代農業への転換は予想されているよりも早く訪れる可能性がある。照明は、主要な設備コストの一つである。購入者は、価格とワット数でその有効性を判断しがちだ。本稿で説明した指針は、テストと購入判断を導くアドバイスとして役立つだろう。

で5000Wとなる。つまり、LED植物育成ライト設備の1平方フィートあたりのコストは、8000ドル/240ft²=33.33ドルとなる。消費電力は、5000W/240ft²=20.8W/ft²となる。

一方、同じ面積に対するMH栽培用照明システムのコストと消費電力は次のとおりである。450WのMH照明器具4台×4ラック=合計16台で7200W。コストは1台あたり185ドル×16台=設備全体で合計2960ドル。つまり、等価なMH栽培用照明システムの1平方フィートあたりのコストは、2960ドル/240ft²=12.33ドルとなる。消費電力は、

7200W/240ft²で30W/ft²となる。

つまり、LEDの方が初期コストは高いが、その後の運用コストが30%低いので効率が低い。ここで次に浮かぶのが、「効率の高い照明でどれだけのコスト削減効果が得られるか」という疑問である。

2つの主要変数を設定する必要がある。実際の状況に応じて値を調整できるが、ここでは、1日あたりの照射時間を16時間（年間5840時間）、kWhあたりのコストを0.12ドル（米国平均値）とする。

1平方フィートあたりの基本データ

は、以下のとおり。

- ・継続的に得られる省エネ効果（LEDの30W-MHの20.8W）=9.2W（1平方フィートあたり）
- ・初期コストの差額（LEDの33.33ドル-MHの12.33ドル）=11ドル（1平方フィートあたり）
- 使用する計算式は、以下のとおり。
- ・削減ワット数/1000×年間稼働時間=1平方フィートあたりの年間削減kWh
- ・年間削減kWh×1kWあたりコスト=1平方フィートあたりの年間削減コスト

表 面積と仕様に対する価格を算出するための計算シート例

仕様例	備考
栽培領域面積(例:10×24ft)=240平方フィート	メーカーによって照明器具や構成の数が異なる。照明器具ではなく平均面積あたりの価格を確認する。
目標平均PPFD=375(栽培床から24インチの距離で測定)	対象の高さで平均PPFDを満たさないメーカーもあるため、例外を設けて、PPFDが均等か、「ホットスポット」が生じていないかの検討を行ってもよい。
波長(例:14波長域混合)= 青色(3):450nm 白色(2):6500K、380～750nm 赤色(3):625nm 深赤色(5):660nm 赤外域(1):730nm	
上記に基づくソリューションあたりの価格: _____ドル	同一条件で比較ができるように、照明供給業者に価格とワット数の空欄を記入してもらう。
上記に基づくソリューションあたりのワット数: _____	一般的に大量に注文すれば単価は下がるので、100台あたりの価格を問い合わせるとよいかもしれない。この例の場合、対象面積は2万4000ft ² となる。

・初期コストの差額を年間削減コストで割ると、回収年数が求められる

本稿の例に適用すると、次の計算結果が得られる。

・削減ワット数9.2W/1000×5840時間=53.7kWh/ft²(1平方フィートあたりの年間削減kWh)

・53.7kWh/ft²×0.12ドル=6.44ドル/ft²(1平方フィートあたりの年間削減コスト)

・初期コストの差額11ドルを年間削減コスト6.44ドルで割ると、回収年数は1.7年

多くのLEDの寿命が10万時間と長いことを考えると、わずか1年半ほどで回収できるというのはビジネスに好都合な利点である。6.44ドルの年間削減

コストは、栽培面積を2万4000ft²とすると年間で15万4000ドル、10年間では150万ドル以上となる。ますます多くのLEDメーカーや付加価値再販業者(VAR:Value Added Reseller)が、初期コストを無償とする支払いオプションを提供している。従って、製品を検討する際には必ず、柔軟な支払いプランについて問い合わせることが必要だ。そうすれば、最初に運転資本コストを支払うことなく、月々の電気料金削減分をLEDのコストに充てることができる。

ステップ3:計算の結果、単位面積あたりの設備コストとワット数が最も低くなった最有力候補の栽培用照明ソリューションを2～3ユニットサンプル注文する。90日以内に返品すれば、サンプル代金を払い戻してもらえるようにメーカーに依頼する。

ステップ4:必要に応じて波長の調整を依頼し、設備費の全額または一部を月賦払いする場合の支払いオプションを確認する。

ステップ5:計算結果と、対象植物やビジネスのニーズに対する実際の性能が高かったメーカーに発注する。

結論

本稿に示したように、LED栽培用照明はどれも同じというわけではない。ここで、LED植物育成ライトを選定する際の主要項目をおさらいしておこう。測光データをメーカーから取り寄せて、対象の高さにおけるPPFD値を確認し、ホットスポットがなくPPFDの分布が最も均等であるものを探す。同じ波長とPPFDレベルで同じ面積を対象とし、同一条件で各種照明器具を比較する。1平方フィートあたりの値に換算することによって、条件をそろえることができる。1平方フィートあたりの設備コストと電気料金を判断の指針とする。大量注文の前にサンプルを試用する。サンプルを返品した場合は代金を払い戻してもらえるように、メーカーと事前に交渉しておく。最後に、月々の電気料金削減分を照明設備コストに充てることにより、投資回収率を最大化できるかどうか、支払いオプションを確認する。

著者紹介

ライアン・ミッチェル(RYAN MITCHELL)は米インディペンデンスLEDライティング社(Independence LED Lighting)のアカウントマネージャー、チャーリー・ソラディ(CHARLIE SZORADI)は同社長兼CEO。URL:independenceled.com