

# LEDの光特性を利用した、 養鶏業の生産性と利益の向上

ケン・マリン

LED光源はエネルギー効率が高く発光帯域が狭いことから、生命科学の分野において貴重な照明技術となっている。本稿では、家禽の飼養にSSL(Solid State Lighting：固体照明)を採用することによって、電気代の節約と生産性の向上という両方の効果が得られる様子を紹介する。

世界の食料需要は2030年までに倍増すると見込まれている。生産者はその需要に対応するべく、環境への影響を抑えながらコストを削減しつつ、生産性を高めることのできる新しい技術を導入している。生産性の向上を目指すこれらの技術の多くは、水、空気、栄養、飼育施設といった、従来の投入要素を改善することに主眼を置いている。生産性に影響を与える要素の中でほとん

ど未開拓のもの1つに、光がある。

農業にLED照明を取り入れ、養鶏、養豚、酪農、魚や甲殻類の養殖における独特のスペクトル要件を利用することによって、ストレスや死亡率を引き下げ、概日リズムを制御し、卵や食肉などのタンパク源の生産量を大幅に増加させつつ、消費電力量やその他の投入コストを著しく低減することができる。

LEDs Magazineの2013年6月号の

記事(<http://bit.ly/1jAzTKp>)に記したように、SSLによって実現されるニッチな応用分野の1つに農業用照明があり、このような分野への参入は、大幅な収益拡大につながる可能性がある。養鶏市場に特化したLEDランプを製造する米ワンス・イノベーションズ社(Once Innovations)、米ルーマ・ビュー社(Luma Vue)、米ネクストジェン・イルミネーション社(NextGen Illumination)などの小規模企業に加えて、オランダのフィリップス社(Philips)や米オスラム・シルバニア社(Osram Sylvania)といったSSL業界の主要企業が、農業や園芸用にスペクトルをチューニングしたLEDランプを開発している。

多くの家畜農業従事者が今でも、家庭や商業分野で用いられる汎用の60W、80W、100Wの白熱電球を家畜小屋で使用している。これらの照明は、人間の環境によく適しているが、白熱電球は太陽光と同じではなく、人間にとって最適な光が必ずしも動物にとって最適な光であるとは限らない。動物は太陽光の下で生息し、進化してきた。太陽光のスペクトルは白熱電球のそれとはまったく異なる。太陽光にはすべての色が含まれている。図1aは、典型的な正午の太陽光に含まれる各色の量を示したものである。1日のこの時間には、青色や緑色の成分が赤色よりも

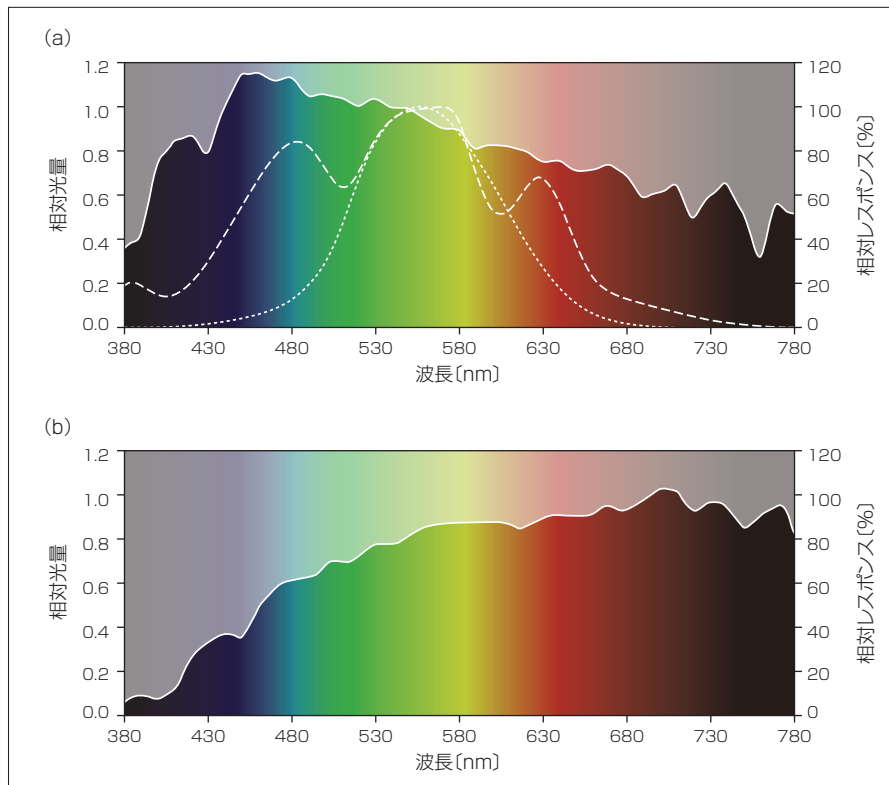


図1 太陽光の日中のスペクトル(a)と日没時のスペクトル(b)。

強いことに注意してほしい。図1bは、1日の終わりの典型的な太陽光に含まれる色の量を示している。この時間になると、赤が緑や青よりも強くなることを見てとれる。

飼育小屋用の最新の照明システムでは、太陽のスペクトルを模倣する試みを取り入れられている。太陽光は、すべての色が隙間なく並んだ連続スペクトルである。白熱電球(図2a)は日没時の太陽光を効果的に模倣し、赤が強、緑はやや弱、青色はほとんどない連続スペクトルを生成する。しかしこのスペクトルは、青と緑が強、赤が弱いという日中の太陽光は模倣していない。電球にコーティングを施すことでスペクトルの改変を試みるメーカーも

あるが、その方法では連続スペクトルが生成されない。また白熱電球は、効率が非常に低く(光よりも熱を多く生成する)、頻繁に断線し(電球が切れる)、防湿器具が必要である。当然ながら、そのすべてがまもなく消えてなくなる。白熱電球を新しく製造することは禁止されているためである。

CFL (Compact Fluorescent Light : 小型蛍光灯)は効率高く、白色光を生成するが、CFLの光出力も人間の視覚に合わせて調整されている。白色光は、狭帯域の赤、緑、青を生成して組み合わせることによって実現される。そのため、赤、青、緑のスパイク(最も強い部分)の間のスペクトルに大きな隙間があり、太陽光に存在する赤、青、

緑の波長の多くが欠けている(図2b)。青色光は極端に弱く、深い赤色成分はほとんど失われている。全般的に、CFLは自然な太陽光をまったく模倣できていないといえる。また、(そのねじれた形状から)拭き取りが困難で、有害な水銀を少量含み、防湿性の筐体が必要で、調光性能は低い。その上、調光する(明度を落とす)と寿命が著しく短くなる。

HPS (High Pressure Sodium : 高圧ナトリウム)電球は効率が非常に高く、光出力も高い。カラースペクトルは赤と黄色成分が最も強く、そのために橙黄色または琥珀色の特徴的な色合いを発する。しかしCFLと同様に、カラースペクトルのほとんどの成分、特に緑色と

<http://www.oceanphotonics.com>



ラボスフェア社  
**全光束測定システム LFCシリーズ**



▲ 50cm 積分球システム



ラボスフェア社から初の中国製積分球  
大好評につき積分球サイズラインナップの  
追加が決定!

**システムの特長**

- 世界標準のスペクトラフレクトコーティングを採用した積分球
- 試料形状、配光特性に合わせて50cm、1m、1.5m、2m積分球から選択可能
- 中国工場での生産、中国からの輸送のため大幅なコストダウンを実現



**Ocean Photonics**

**オーシャン フォトニクス 株式会社** ラボスフェア課  
〒169-0051 東京都新宿区西早稲田3-30-16 ホリゾン1ビル  
TEL 03-6278-9470 FAX 03-6278-9480 E-mail: sales@oceanphotonics.com URL: http://www.oceanphotonics.com



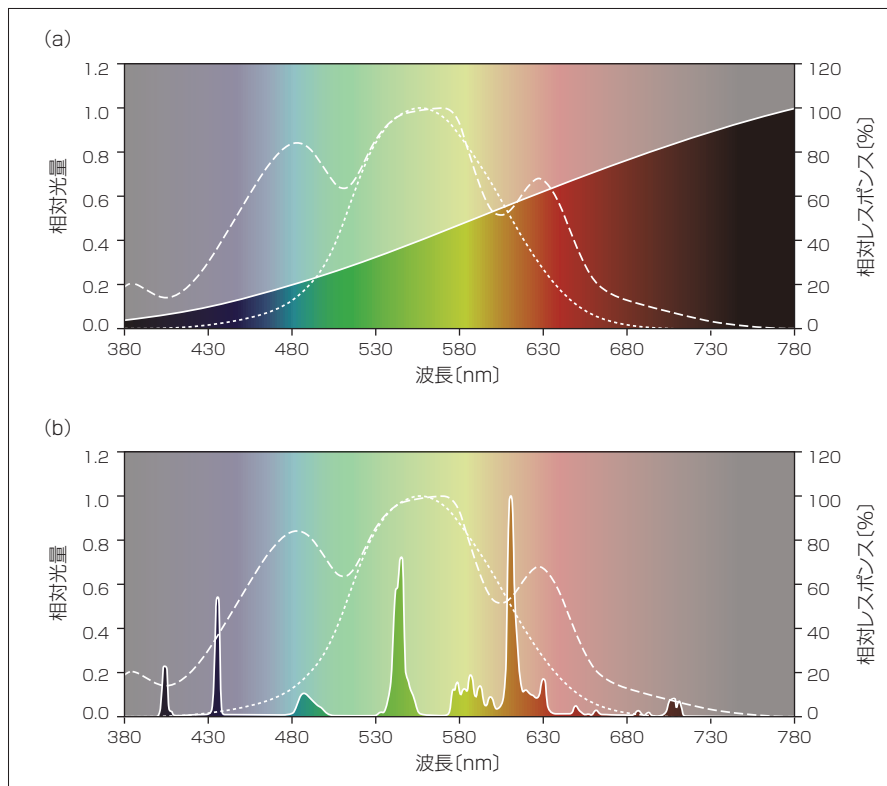


図2 白熱電球のスペクトル (a) と CFL のスペクトル (b)。

青が欠けている。また HPS 電球には、調光が非常に困難、点灯に時間がかかる、動作にバラストが必要、初期導入コストが高い、ナトリウムと水銀を含む可能性があるといった問題がある。

LED は農業用照明として最も効率が高く、環境に優しい選択肢である。青色 LED に赤と緑の蛍光体を組み合わせることによって、白色光が生成される。スペクトルはほぼ連続しており (図 3)、青色成分が特に強いが、緑色と赤色も十分に強い。日中の太陽光とまったく同じではないが、LED のスペクトルは、人間の視覚からの昼光をほぼ模倣し、他の技術のようなスペクトルの隙間はない。また、寿命は最も長く (24 時間年中無休稼働で最大 10 年間)、耐久性が非常に高く、衝撃や振動の影響を受けにくく、色の変化や制御が可能である。LED は初期導入コストが高いが、消費電力の節減によって短期間

で回収が可能であるため、農業用照明の選択肢の中で、総所有コストは最も低い。

### 養鶏農場における LED

2014 年の Strategies in Light (SIL) において、ワンス・イノベーションズ社社長のブライアン・ウィルコックス氏 (Brian Wilcox) は、「ひなが喜ぶ環境づくり」というテーマで発表を行った。同氏はその中で、LED 照明の経済的なメリットによって、エネルギーコストの削減にとどまらない本当に有益な効果が養鶏業の管理と生産にもたらされ、収益増加につながるという主張を裏付ける魅力的な科学技術について詳説した (<http://bit.ly/1kXzh1e>)。本稿では、養鶏業への応用について詳しく紹介したいと思う。

太陽光を効率的かつ正確に模倣できるという点において、LED は他の農業

用照明に勝るが、最大の強みは、スペクトルのカスタマイズやチューニングが可能だということかもしれない。動物のスペクトル感度は人間とは異なる。したがって、両者のスペクトル要件も異なる。飼育小屋におけるスペクトル、放射照度、変調の適用を最適化することによって、飼育動物が健康で快適に過ごせる照明環境を作り、エネルギーと飼料のコストを最小限に抑えつつ、その成長を促進することができる。

農業用 LED の最も有望な応用分野の 1 つが、養鶏場の照明である。光子に対する吸収、認知、反応が人間と鳥類で大きく異なることが、その最大の理由として挙げられる。その違いを利用して LED ベースの技術を導入することにより、照明コストの削減、筋骨格の発達と体重の増加の促進、採卵鶏の早期成熟の促進、飼料効率の改善、メラトニン産生の改変、産卵の数と質の向上、繁殖サイクルの制御、生殖寿命の延長といった効果が得られる可能性がある。

人間の眼は三色素型で、赤、緑、青色の 3 色のスペクトルエネルギーを感じ取り、色を認識する。人間は、550nm (緑) の光に対する視感度が最も高く、それを中心として赤から青色までの幅広いスペクトルを認識する。人間は網膜の受容体のみによって、ロドプシン (桿体細胞)、イオドプシン (錐体細胞)、メラノプシンという感光色素を通して光子を吸収する。

鳥類も、ロドプシン、イオドプシン、メラノプシンによって網膜を通して光子を吸収する。しかし鳥類は、脳上部の松果腺に存在する機能性の光受容体によっても光子を吸収する (松果体の光受容能)。さらに興味深いことに、鳥類は脳の奥深くに存在する光受容体によっても光子を吸収する (視床下部の光受容能)。

家禽は四色素型である。人間と同様に、550nmの緑色に対する感度が最も高い。しかし、赤、青、紫外線(UV)の光に対する感度も高い。これは鳥類の起源に由来すると考えられている。南アジアの熱帯林地域では、密林に生い茂る木々の葉の緑色に光をろ過する効果がある。そのため、鳥類は青色と赤色の感度が高く、感度のピークが450nm(人間の視感度の12倍)と640nm(同4倍)にある。しかし、人間と鳥類の最大の違いはおそらく、鳥類が紫外光を網膜によって認識できることである(ピークは385nm)。家禽が紫外光を感受可能な理由については広く研究が行われている。餌と群れを認識する能力が主な2つの理由ではないかと考えられている。

各色は鳥類の生理学に対し、それぞれ異なる影響を与える。例えば緑色光には、骨格筋の衛星細胞の増殖を促進し、幼年期の成長を著しく加速化させる効果がある。青色光は、血漿アンドロゲンを高めて幼年期後の成長を促進する。狭帯域の青色光は運動機能を減退させる。(特に、食肉用に飼育されるブロイラーに対して)後年の共食い率を低減させる効果もある。緑色と青色の光の組み合わせによって、テストステロン分泌がさらに効果的に刺激されるため、筋原線維の成長が促進される。全般的に、青色光は飼料効率を最大で4%改善することが示されており、1ポンド(約454g)当たりのコストを最大3%削減し、総生体重を最大5%増加させるといふ。

赤色光は、生殖活動を刺激および促進し、飼育期間の開始時における鶏や七面鳥の増殖速度を高める。運動促進の効果もあるため、飼育期間の終了時における脚障害を最小限に抑えることができる。赤色光は、鶏卵のサイズ、殻

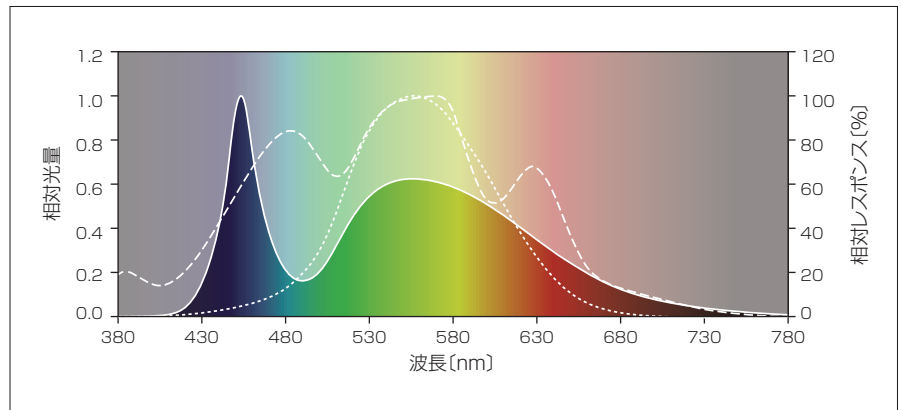


図3 標準的な白色LEDのスペクトル。

重量、殻の厚さ、黄身と白身(卵黄とアルブミン)の重量が同じ場合の産卵1個あたりの飼料消費量の低減にもつながる。全般的に赤色光は、ピーク生産期間を延長し、鶏卵生産量を最大で一羽あたり38個にまで増加させつつ、飼料消費量を最大で20%削減できる可能性があることが示されている。

### エネルギー節減が収益向上の鍵に

農場照明は、エネルギー総消費量のかなりの割合を占めている。どの農業施設にも似たような照明システムが設置されており、また、農場は比較的小さな地理的地域に密集している。照明システムの取り換えは簡単で、奨励金の給付があれば利用しようとする農業従事者は多い。米国エネルギー合理化経済評議会(ACEEE: American Council for an Energy-Efficient Economy)によると、北米の農業市場には、特に米国中西部において、年間10億ドルものエネルギーコストを節減できる機会が存在するという。それは原子力発電所2施設分の発電量に相当する。ACEEEのケイト・ファーレイ氏(Kate Farley)によると、農場経費の7%はエネルギー関連であるという。白熱電球をLED照明に置き換えることによって、エネルギーコストを飼育小屋あた

り2000ドル削減できる可能性がある。そのコスト削減に加えて、奨励金や助成金などの給付があれば、農業従事者による飼育小屋あたりの収益性改善に大きく貢献することになる。

採卵鶏(レイヤー)市場だけを対象に節電効果を検討してみよう。全米には2500を超える採卵養鶏場があり、鶏卵生産量上位10施設のうち6施設が中西部にある。1つの養鶏場の運営に、平均で800個の白熱電球が使用されている。それらの照明をLEDに交換した場合、年間で2万8032kWhの節電になる(照明数800個×1照明あたりの節電量(9W-3W)×1日あたり16時間×365日で計算)。採卵養鶏場の42%がアイオワ州、オハイオ州、インディアナ州に存在することから、この3州だけで7000万kWhもの節電効果が得られることになる。

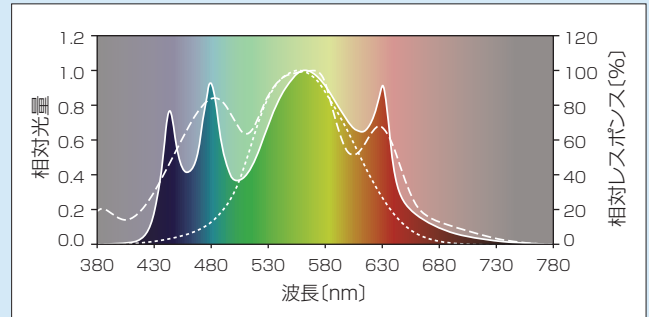
レイヤー市場の4倍の電力を消費する食用鶏(ブロイラー)市場では、さらに大きな節電効果が得られる。食用養鶏場の大多数は米国南東部から中東部にかけての州にあり、その多くがまだ旧式の照明技術を採用している。食用養鶏場の白熱電球の消費電力量は、養鶏場あたり年間平均27万1814kWhにもなる。この値は、養鶏場あたりの飼育小屋数が4棟、飼育小屋あたりの設

## ドライバレスAC設計を採用する農業用LED照明

正式な性能規格や奨励金制度が存在しないにもかかわらず、ワンス・イノベーションズ社などの企業は、コストを抑えつつ、動物の発育促進と生産性向上につながる、エネルギー効率の高い農業用LED照明の開発を進めている。

同社は、汎用の白色LED技術を改良した専有技術を保有している。色混合によって単色を組み合わせることにより、赤色と緑色成分を強化し、スペクトル全体にわたってより均等で、チューニングや調光が可能な光を生成する(図A)。ディスプレイに用いられる従来のRGBアレイは、パルス幅変調を施したDCパルスによって駆動され、DCパルスのデューティ比を変えることによって各LEDの点灯時間が制御される。一方AgriShiftでは、同社独自のステップ型のAC電圧を利用して、LEDを直接駆動する。この方法では、AC/DCを切り替えるドライバやEMIフィルタが不要となるため、コストと占有面積が削減され、信頼性が向上する。鳥類(家禽を含む)はすべて、EMIノイズに非常に敏感であるため、EMIが低いことも動物の快適性という観点において重要な要素である。

AgriShift製品に採用されるAC技術は、やや複雑な目的をシンプルなアナログ構成によって達成しているという点において独特である。様々な所定の電圧レベルが適用される複数の列にLEDを配置し、同社独自のスイッチングFETと組み合わせることによって、他の手法では適切な駆動電流波形の生成に必要となる、複雑なデジタルスイッチング回路を不要としている。基本的にLEDは、印加されるAC電圧に応じて独自の電流波形を生成する。(単色LEDと白色LEDを組み合わせると)各列のLEDの種類を変え、異なる電圧レベルを適用することにより、カラースペクトルを変化させることができる。このアーキテクチャにより、色がシフトする照明器具を、従来の調光技術を用いて簡単に実装することができる。また、色が変化する従来の照明システムに使用される、複雑なDC制御回路も不要になっている。この技術によって実現される照明器具は、飼育小屋に

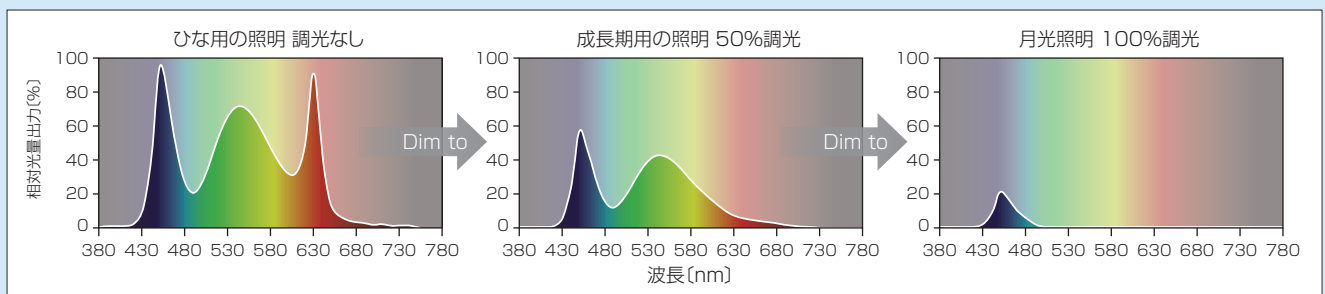


図A ワンス・イノベーションズ社のLEDスペクトル。

既に設置されている照明制御システムと非常にうまく適合するため、農業従事者は簡単に新技術へと移行することができる。

AgriShift電球は2%~100%の範囲で調光可能で、調光時にスペクトルを赤色にシフトする日出/日没モードもある。調光しない場合は、幼年期の鶏の成長刺激に理想的なフルスペクトルの光が生成される(ひな用の照明)。成長期には光出力を30%に抑えることができ、青色と緑色成分で筋肉の成長を促進しつつ、強い赤色成分を除去して運動機能を減退させる。月光照明は単色の青色による100%調光を利用するもので、鶏に安心感を与え、過食を抑制し、キャッチング(捕獲)を容易にする。図Bは、「AgriShift VOB」(Variable Output Broiler Fixture: プロイラー用可変出力照明器具)の養鶏場用電球を、標準のトライアック調光器によって白色から単色へと調光する際のスペクトルシフトを示している。

AgriShift電球は、わずか2~14Wの消費電力で200~950ルーメンを出力し、力率は97%以上、全高調波歪み(THD: Total Harmonic Distortion)は20%未満である。THDが低いこともアナログAC構成の利点の1つで、スムーズな遷移と穏やかな過渡応答を実現する。個々の電球は、対象とする動物の動作によって、多様なLED、フォームファクタ、入力電圧で構成可能である。



図B ワンス・イノベーションズ社調光機能のスペクトルシフト。

置照明数が132個、照明あたりの消費電力が100W、1日あたり18時間、1群あたり52日、年間で5.5群とし、それぞれの数値を乗算して算出した。

テキサス州ナコドチェスにあるスティーブンFオースティン州立大(Steven F. Austin University)のジョーイ・ブレイ博士(Joey Bray)は、ワンス・イノベーションズのLED技術「AgriShift」を、既存の白熱電球およびHPS電球と実環境で比較し、節電効果を算出した。ブレイ博士の調査によると、標準的な白熱電球とHPS電球を使用する平均的な食用養鶏場で、1群あたりの年間消費電力は3837kWhだった。同じ養鶏場にAgriShift LEDを設置した場合、消費電力はわずか109kWhとなり、1つの養鶏場における1群あたりの消費電力は95%以上減少した。これを業界全体に適用すれば、全米で合計20億~50億kWhものエネルギー削減が得られる。これは原子力発電所1施設の発電量に相当する。ワンス・イノベーションズ社とAgriShiftの詳細については、18ページの別掲記事「ドライバレスAC設計を採用する農業用LED照明」を参照してほしい。

養豚場に対しても同等に大きな節電効果が期待できる。養豚が盛んな州10州のうち8州は米国中西部に位置し、照明ソケット総数(ほとんどがCFL)は180万個にも及ぶ。中西部のすべての養豚場の照明をLEDに置き換えれば、5億4000万kWhもの節電が得られる可能性がある(52.2MkWh(CFL)-25.2MkWh(SSL)=27MkWh(SSL)×1日あたり20時間×365日で算出した)。

## 規格と奨励金

効率と有効性が高く、総所有コストは低いというメリットにもかかわらず、高い初期導入コストが農業用LED照明

製品の障害となっている。初期コストが高い理由の1つは、農業用照明に関する性能規格が業界に存在しないことである。規格が存在しないために、電力会社が民生・商業分野で白熱電球やCFL採用の照明製品を対象に提供するような、エネルギー削減を目的とした奨励金が、農業用LED照明製品については利用しにくい状況が生じている。

現行の照明規格は、家庭用/商業用分野において人間に適用される照明性能と要件を対象としている。エネルギー効率の高い民生用照明製品にはEnergy Starラベルが、商業用製品にはDesignLights Consortium(DLC)ラベルが付与される。残念ながら、農業用照明製品にはそれに相当する性能規格やラベルがない。そのため、電力会社が奨励プログラムにおいてこれらの製品を規定することは難しく、それがこれらの製品に決定的なコスト上のデメリットを与えている。農業従事者は、汎用の民生・商業用照明製品を利用し、それを飼育小屋に設置する(耐久性と防湿性に優れた器具で覆うことも必要になる)ことによって奨励金を受け取ることができるが、動物や飼育小屋用に特に設計されている既製の照明製品は、概して奨励金の対象外である。

農業用照明製品の供給者と消費者(この場合は農業従事者)に必要なのは、農業上の性能に特化して照明製品を評価するプログラムである。そのようなプログラムを、Energy StarまたはDLCに組み込むか、またはそれらとは独立して設けることにより、農業用照明製品の比較に必要な情報を消費者と電力会社に提供するとともに、奨励金の受給条件に公平性をもたらすことができる。複数の電力会社にわたって基準を統一し、耐久性、性能、信頼性、安全性といった主要な性能基準を定める規

格が設けられれば理想的である。このような規格の制定に向けた取り組みは既に進行中で、複数の電力会社が参加の意思を既に表明している。

## 農業の未来を切り拓く

研究開発の多くが、まずは養鶏と養豚の市場を対象としているが、特にワンス・イノベーションズ社の技術は、乳牛、馬、水産養殖業にも適用することができる。例えば、豚、畜牛、馬は赤色光を認識しないため、夜間は赤色スペクトルだけを利用すれば、動物の邪魔になることなく飼育小屋で作業することができる。人間に対しても、病院では同様の方法が採用されている。夜間には赤色光を点灯することにより、患者のメラトニン産生を抑制し、睡眠を妨げる白色光を用いることなく、病院職員は病院内を移動することができる(医療分野で採用される照明の詳細については、当号20ページの「最新医療の実力を引き出すSSL」を参照してほしい)。

スペクトル調整は、魚や甲殻類の養殖において池環境の制御にも適用することができる。例えば、ワンス・イノベーションズ社のAquaShift照明システムは中国やベリーズの養殖池に設置されており、LED照明が甲殻類養殖の生産性に与える効果を測定する研究が、複数の大学によって実施されている。農業用固体照明の世界市場は170億ドルを超える規模を持つ可能性がある。LEDメーカーが、動物の発育を促進し、農業生産を高めつつ、消費電力やコストを削減する、光を利用した新しい方法を見出せば、その規模はさらに拡大するだろう。

### 著者紹介

ケン・マリン(Ken Marrin)はLEDs Magazineの寄稿記者。