

～ 鶏卵生産者のための LED 照明とその他の光源の手引き ～

照明は鶏卵の生産において不可欠であり、近代養鶏においてはコマール鶏であっても種鶏であっても、生産性を最大にするため、ほとんどの鶏舎システムにて人工光が利用されている。

鶏舎内を照らすための光源は LED 照明が主流となっているが、その他の光源も含め種類によって、それぞれ長所や短所を持ち合わせている。したがって、照明についての専門用語や管理手法だけでなく養鶏に関するいろいろな照明器具について理解することは、非常に重要なことである。



光に対する反応 ヒトと家禽の違い

照明は鶏卵生産や若めす育成において重要である。家禽は、ヒトとは異なった光スペクトルのレンジ（異なる色の光）に反応し、各スペクトルの感じ方（光の見え方）もヒトとは異なることが分かっている。ヒトはおよそ 400～750nm の波長の光に反応し（図 1）、家禽は 400～750nm の波長の光に加え、UV-A（紫外線 A 波）の光（315～400nm の波長）も見ることができる（図 2）。さらに、家禽はおよそ 480nm と 630nm あたりの波長に光感受性のピークが複数あり、赤色と青色のスペクトル（赤い光と青い光）に対する感受性の度合いが、ヒトより高い。

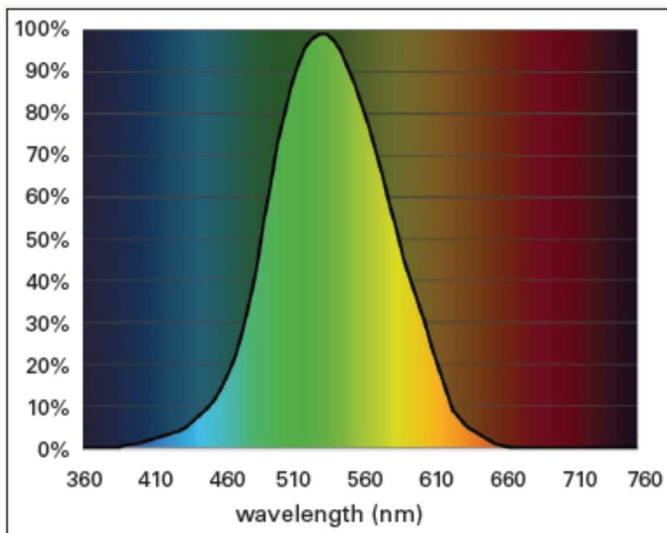


図 1. ヒトの明所視のスペクトル反応
(ヒトが見える色の範囲)

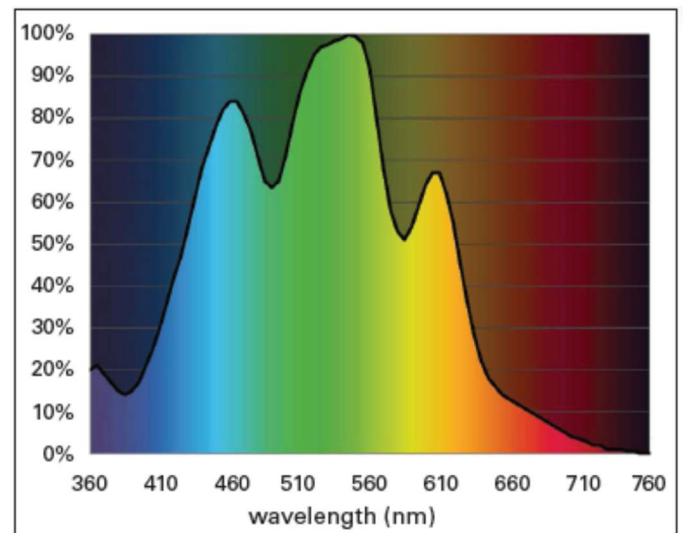


図 2. 家禽の明所視のスペクトル反応
(家禽が見える色の範囲)

lux と Clux

光の lux（照度）はどの波長でも測定することができるが、国際照明委員会（CIE）の照度測定に関する標準は、ヒトの反応のピークである 550～560nm の波長に設定されている。つまり、従来の光の計測器（照度計）はヒトが感じる反応に合わせて作られたものである。しかし、鶏には 3 つの明所視スペクトルのピークがあるため、ヒトとは見え方が異なる。その見え方を表わしたものを Clux といい、Clux を測定するには、家禽特有のピークを加味した追加の計算処理が必要になる。そして、光源とそのスペクトルによっては、Clux は lux より 50% まで高くなることもある。

lux と Clux との違いを理解すると、生産者はよりの確な光源を選択でき、従来の照度計（明るさの計測器）では限界があるということがわかる。したがって、従来の照度計による数値は、舎内の照度の目安にはなり得るが、lux と Clux において常に違いがあることを認識しておく必要がある。

家禽の光に対する生物学

鶏は、目の中の網膜錐体受容体を通してだけでなく、脳内の松果体と視床下部内にある特別な網膜の光受容体を通して光を検知することができる。これらによる光への応答によって、鶏の1日のホルモリズムや行動リズムが制御されている。

また、ヒトは三色型色覚で、赤、緑、青を決定する網膜錐体を持っているが、鶏は四色型色覚（赤、緑、

青、紫外線）であり、さらに、不等双子型錐体（これは動くものに対する追跡行動や警戒行動の機能と関係していると言われている）を持っている。^{*1}

家禽は、光の色によって反応が異なることが知られている。性成熟や産卵を刺激するためには赤色の光は不可欠であり、赤色の光に継続的に晒された鶏は、青色、緑色、白色の光に晒されたグループより高い産卵性を示す。赤色の光（およそ 650nm の波長）は頭蓋骨を透過することができ、特別な網膜視細胞を刺激するため、青色、緑色、黄色、橙色の光と比べて 4～50 倍、効果的に頭骸骨と脳（視床下部）に透過する^{*2}。ちなみに、視床下部は、産卵に重要なホルモンの生産を制御するために重要な部位である。

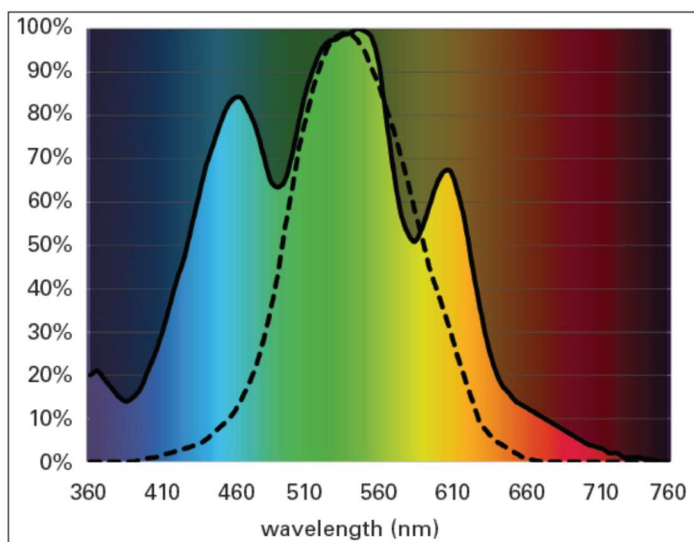


図 3. ヒトと家禽の明所視（見える色の範囲）の比較：点線がヒト／実線が家禽

光による影響 鶏は光の何に影響を受けるのか

鶏は点灯時間、光の強さ、スペクトル（波長の分布）によって影響を受ける。光は、様々な環境にあるレイヤーに対して、若めす育成、性成熟期、卵重、産卵性を最適化するための管理ツールとして利用することができる。

点灯時間

点灯時間の一般的なルールとして、育成期は点灯時間を減らすか一定に、成鶏期は点灯時間を増やすか一定にする。点灯刺激（点灯時間を増やすこと。通常は少なくとも1時間の増加）は生殖ホルモンの生産に即効性がある。産卵を最大にするための標準的な点灯時間は16時間であり、ピーク産卵の持続を助けるために、30～35週齢あたりで点灯時間を16時間に到達させることが理想である。

照度

lux、Clux で測定される照度もまた、養鶏にとって重要である。一般的に、5 lux 未満の照度では発育や産卵を刺激するには暗すぎ、逆に明るすぎる照度（50 lux 以上）では、神経質になったり異常な行動をとったりすることがある。育成鶏における標準的な推奨値は、最初の2～3週間を30～50 lux で育すうし、その後14週齢まで10～15 lux に調光する。そして、成鶏移動の2週間前から徐々に照度を上げ、成鶏舎と同じレベルに合わせる。産卵鶏では、給餌トラフの位置で平均30 lux を保つことが望ましい。

最新の養鶏設備において、照度を均一に維持することは難しい場合がある。除糞ベルトのある直立多段ケージやコロニーの鶏舎にて、配光を測定するには、照明器具同士の間で各段の給餌トラフにおいて、25cm 毎（各段各ケージごと）に測定することが望ましい。

舎内全体の配光を正確に評価するためには、通常 30～100 箇所の照明器具の間で測定が必要となる。平飼い鶏舎では、照明器具の下で給餌機、飲水ライン、壁際で測定し、更に、照明器具の間で 2～3 箇所測定する。舎内全体の配光を正確に評価するためには、10～50 箇所の照明器具の間で測定することが必要になる。開放鶏舎では、舎内に差し込む直射日光を防ぐために日よけやカーテンを使用する。これらを用いて直射日光を防いでも、開放鶏舎の照度は簡単に 1,000 lux 以上になる。

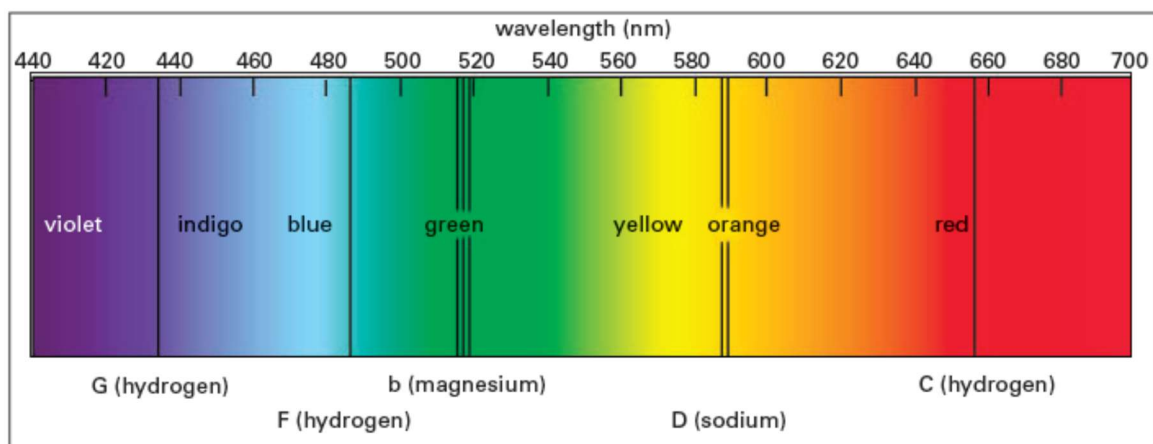


図 4. 可視光のスペクトル（波長の分布）

スペクトル（光の波長・色の分布）

生産者は、光源から発せられる光の色について理解することにより、鶏にとって赤色、緑色、青色の光量が適当になっている光源を選択しやすくなる。一般的に光源の色はケルビン（K）で表現されるが、この単位は鶏の育成と生産に重要な赤色、緑色、青色のスペクトルに対するピークの強度を表していない。

ブロイラーの研究では、青色と緑色の LED 照明は成長を増進することが明らかになっている*3。レイヤー育成鶏の研究では、もっと多くのデータが必要ではあるが、青色と緑色のスペクトルの割合がより高い LED 照明では、白熱灯と比べて体重と斉一性が良いとする報告がある（Settar、未発表データから）。一般に、若めすは暖色あるいは寒色の照明で育成しても良いが、産卵鶏は、赤色スペクトル（2700～3000K）が十分にあるものを使用すべきである*4。

ケルビンや分光計（スペクトルの分布）に関する情報は、通常、照明器具メーカーから入手することができる。

色度（相関色温度）

色度は光の相対的な暖かさや涼しさを示し、ケルビン（K）で表される。色度はもともと白熱灯を評価するために発達したが、それぞれの光源の光に含まれている主要なスペクトル（色）の推測ができる。しかしながら、色度だけでは相対的な色のピークやスペクトルのバランスについての情報は分らない。

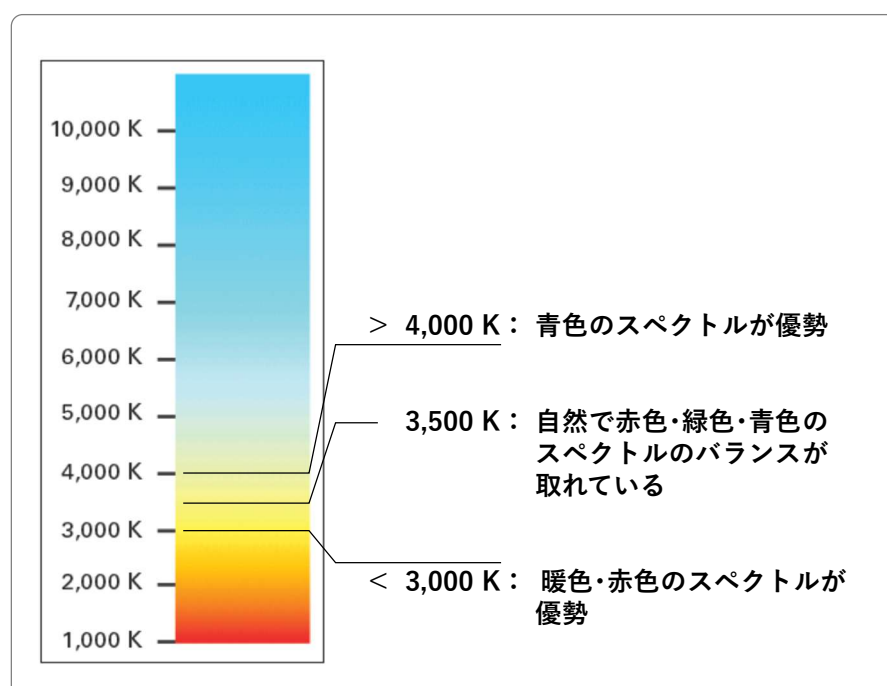


図 5. ケルビン(K)による色温度スケール

養鶏産業では、多くの異なった光源を利用しており、太陽光に影響を受ける開放鶏舎から、外部の光の影響を受けない技術的に最も優れた最新設備の鶏舎まで幅が広い。光源の違いによる光の色の組成や特徴を理解することは、光源を選択する上で重要である。

太陽光

長所

- ✧ 赤道地域において、太陽の光線は年中一定である。
- ✧ 紫外線から赤外線までのフルスペクトルの光である。
- ✧ 太陽光の日々の変化や季節ごとの変化に対する反応は、家禽と野鳥の双方にもともと備わっているものである。
- ✧ 自然光を利用するように設計された鶏舎は、エネルギーコストを節約することができる。



短所

- ✓ 夜明けから正午、夕暮れまで、季節から季節、日の出から日の入、雲に覆われるなどによって、太陽光の分光組成（光の色の組成）と照度が変化する。
- ✓ 光が鶏舎の様々なところから入ってくるので、照度は一日を通して変化する。
- ✓ 太陽光の照度は人工光に比べて非常に高く、日長時間の季節的な変化に対応することが困難な場合がある（特に高緯度の地域）。
- ✓ 明るく晴れた日は 60,000～100,000 lux になり得る。
- ✓ 照度が高いと、神経質、羽ツツキ、カンニバリズムなどの異常行動の原因となる場合がある。

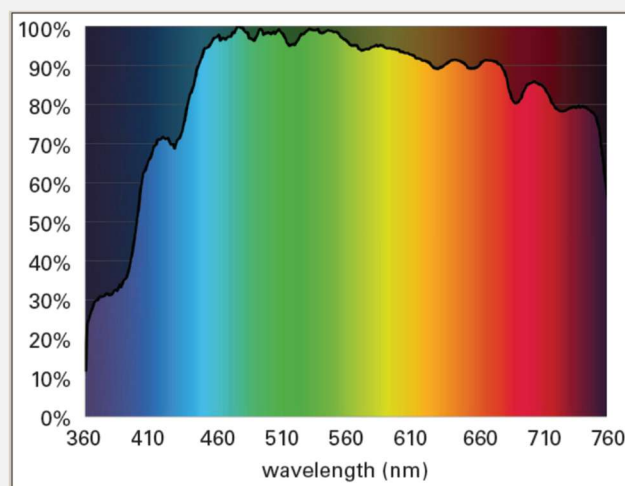


図 6. 太陽光(正午)のスペクトル

白熱電球 (INC)

長所

- ✧ 低価格である。
- ✧ 望ましい赤色スペクトルが出力される。
- ✧ 優れた配光性である。
- ✧ 電源を入れてから照度が上がるまでが迅速である。
- ✧ 寒い気候で使用してもパフォーマンスに差がない。



短所

- ✓ 寿命が短く頻繁に交換が必要である。
- ✓ 通常金属とガラスで作られており壊れやすい。
- ✓ 使われるエネルギーの 90%以上が光ではなく熱として放出される。
- ✓ 多くのタイプは新しいエネルギー効率基準に適合していない。

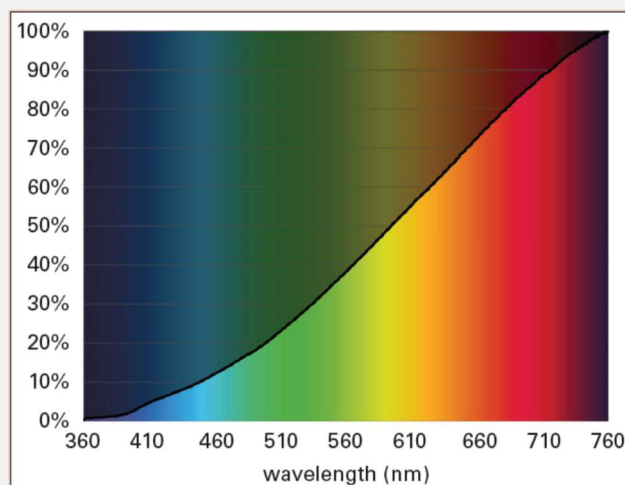


図 7. 白熱電球のスペクトル

電球型蛍光灯（CFL）

長所

- ✧ エネルギー効率が良い。
- ✧ 比較的低価格である。
- ✧ 白熱電球と似た色の光が出力される。
- ✧ 暖色と寒色、両方のスペクトル（ケルビン）を利用できる。
- ✧ コマーシャル鶏と種鶏のどちらでも問題ないことが証明されている。



短所

- ✓ 水銀を含んでいる。
- ✓ 螺旋チューブにカバーがないものは掃除が難しい。
- ✓ 金属とガラスから作られており壊れやすい。
- ✓ 調光すると切れやすくなる性質があり、調光がうまくいかない場合がある。
- ✓ 白い光に見えても、CFL は電球の中で使われている発光体によって、様々な光の色のピークがある。
- ✓ 電源を入れてから最大の照度にいたるまでに数分かかる。
- ✓ 気温が低いと性能が下がる。
- ✓ 一日に複数回つけたり切ったりするところでは不向きである。
- ✓ 電球に送り込む電流と電圧を調整するために、電子安定器が必要である。

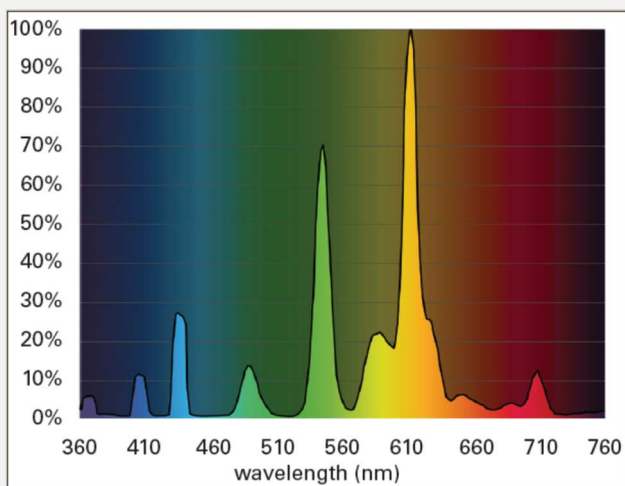


図 8. 暖色蛍光灯(2700K)のスペクトル

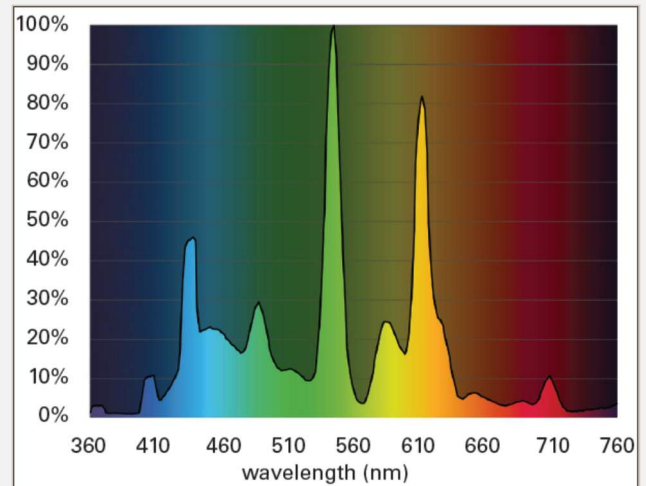


図 9. 寒色蛍光灯(5000K)のスペクトル

直管型蛍光灯（LFL）

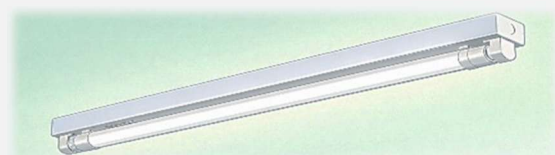
長所・短所は電球型蛍光灯と同様だが、それに加え以下の追加情報がある。

長所

- ✧ 下降式チューブライトは、多段ケージまたはコロニーシステム内のすべての段において、より均一な配光を可能にする。
- ✧ チューブがより大きくて出力がより高いため、平飼い鶏舎では光が広範囲に均一に広がり、照明器具を少なくすることができる。

短所

- ✓ 破損したときに、ガラスや有害な破片が多く出る。
- ✓ 安全に保管・輸送するのに取り扱いにくい。



発光ダイオード (LED)

長所

- ✧ 光のフルスペクトルを提供できる (全波長の光を出力することができる)。
- ✧ 一般的にルーメン/ワットの評価で、最も効率が良い光源である。
- ✧ LED は赤外線 (熱) を出さないの、防水や飛散防止性能のあるガラス以外の物質で組立てることができる。
- ✧ 一般的に無毒な物質で製造される。
- ✧ 希望の場所に光を集中させるように設計できる。
- ✧ 光のスペクトル (色) は、使用する発光体によって調整することができる。
- ✧ 蛍光灯より調光がしやすい。
- ✧ 調光すると寿命が延びる場合がある。
- ✧ 寿命が非常に長い - 1 日 16 時間点灯で 10 年まで (50,000~60,000 時間)。
- ✧ 電源を入れてからすぐにピーク照度になる。
- ✧ 照明を頻繁につけたり切ったりする場所においては理想的である。
- ✧ 寒い気候でも性能における変化がなく効率的である。

短所

- ✓ 高価である。
- ✓ 適正な調光器を使用する必要があり、不適切な調光器の場合ちらつき (フリッカー) が起こり、寿命がより短くなる。
- ✓ LED 照明は指向性があり (光に方向性がある)、光を集中させるための適正なレンズ、あるいは広い範囲を照らすための拡散器が必要である。
- ✓ LED の理想的な電気的特性に合わせるために、電線を引き直す必要が生じる場合がある。
- ✓ 排熱フィンの効率は、埃が積もったり、照明器具の周りの換気が不十分だったり、防水カバーを付けたりすると低下する。
- ✓ 想定寿命が過ぎても切れないかもしれないが、ルーメン出力が本来の 70% 以下に低下する。結果的に、交換する時期を決定するためには、鶏舎内の lux を定期的に測定するとよい。
- ✓ 廉価の LED 照明は鶏舎環境での使用において適正な放熱板、スペクトル、ハードウェア、または保証がない場合がある。

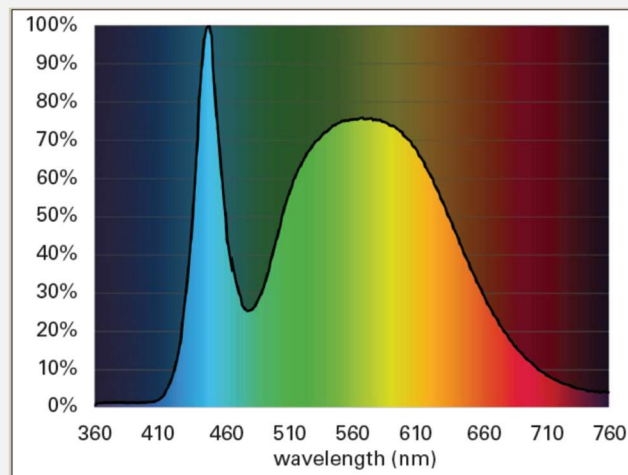


図 10. 寒色 LED ライト (5000K) のスペクトル

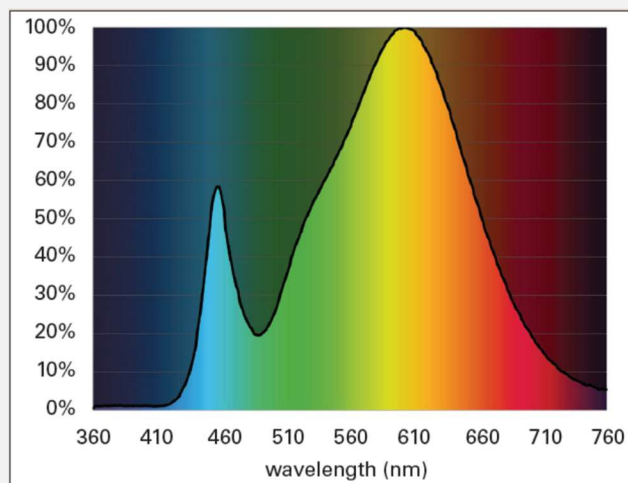


図 11. 暖色 LED ライトのスペクトル

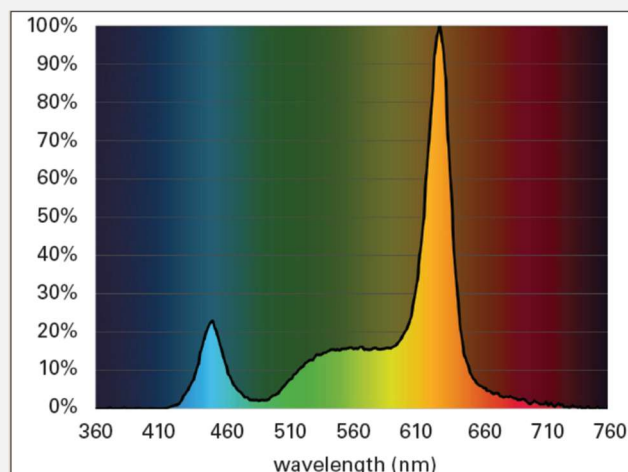


図 12. 赤色のスペクトルを強調した全スペクトルの LED

光束・光度・照度

光束は、光源から発せられた全可視光であり、**ルーメン**で表される。

光度（指向性の光束）は、光源から特定方向へ発せられる光束を量で表したもので、**カンデラ**あるいは**キャンドル**で表される。

照度は、光によって照らされた単位面積当たりの光束で、**lux** で表される。その計算は、 $1 \text{ lux} = 1 \text{ ルーメン}/\text{m}^2$ 。これは、同じ光でも光源に近いとより明るくなり、遠くなると光が広がるので暗くなる。

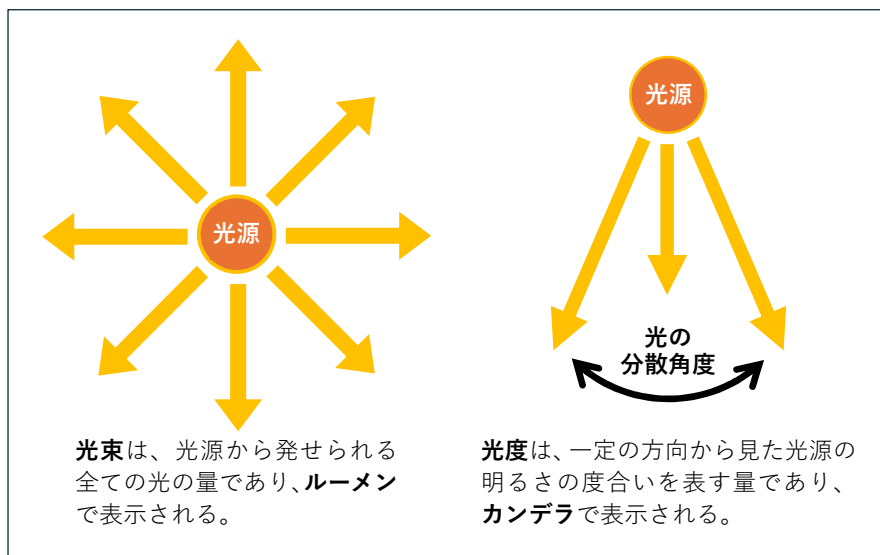


図 14. 光束、光度のイメージ

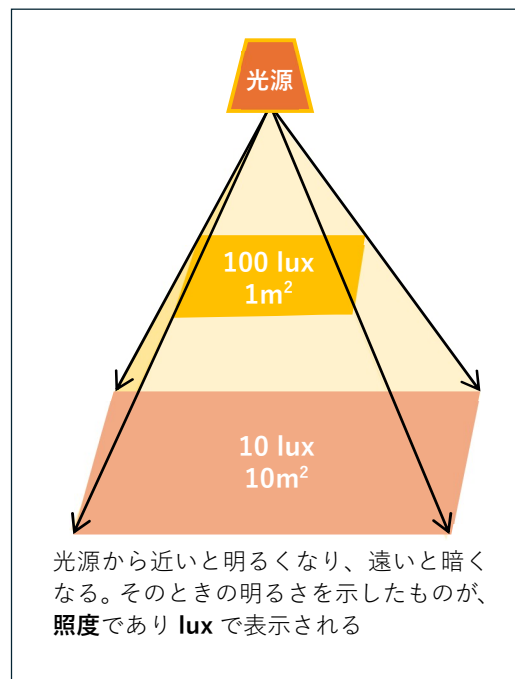


図 15. 光源からの距離の違いによる照度

照度計について

従来の照度計はヒトの目に適した波長（550～560 nm）を測定するようにできている。これらの照度計では青色や赤色の波長の光を評価しておらず、光の見え方が異なるヒトと家禽では、その差を予測することはできない。鶏は見える光の範囲がヒトより広いため、青色と赤色の両方で照度を測定することが重要である。

LED 照明を評価するには、家禽専用の照度計か LED 専用の照度計を使用するのが理想的である。

家禽専用の照度計は、鶏が見える効果的な照度（Clux）を測定することができ、一方、LED 専用の照度計は、ヒトの視覚における光の完全なスペクトル出力を分析することができる。家禽専用照度計は、ごく一部のメーカーしか製造していないが、LED 専用照度計は写真家が使用しており、様々なところから入手可能である。

照明を評価するためのルーメンについて

白熱電球では、光源の出力（ルーメン）は電球のワット数によって決まっており、メーカー間で一致している。市販の従来型白熱電球のほとんどは、40、60、75、100 ワットであるが、電球メーカーは依然として、電球型蛍光灯や LED 電球の明るさ（光束）を白熱灯のワット数相当で表示していることが多い。

電球型蛍光灯（CFL）と白熱電球は、共に均一に光を放出するので、明るさの表示は同等である。しかしながら、LED 照明は光の広がり均一でなく方向性があるので、ルーメンの使用は正確とはいえないかもしれない。ワット数のほかに望む光の方向、光の色スペクトル、目的とする光の利用方法などを考慮するべきである。

表 1. 白熱電球と光束について

白熱電球（ワット）	光束（ルーメン）
40	450
60	750～900
75	1,100～1,300
100	1,600～1,800

「光束（ルーメン）」は光の方向性に関わらず、光源が放出する光の総量を表す。しかしながら、多くの LED 照明は放熱板、ダイオードの向き、構造により、光の放出される角度は 30° ～ 180° 以上となる。

例えば、2つの同等の電球（光の広がりには方向性があるもの【いわゆる LED】と広範囲に発光するもの【いわゆる白熱電球や電球型蛍光灯】）は、光束が同じであっても、電球の設置場所によって光度（カンデラ）や照度（lux）が大きく異なる。

LED 照明の使用 現場での注意点

レンズによる拡散の重要性

LED 照明から発光された光は、本質的に指向性があり、レンズによる拡散が乏しいと鶏舎の中に設置した時に、影ができることがある。配光角度が 180° より少ないものでも光が鶏にあたる場合は、効果的になり得るが、影を作らないように照明の間隔には注意しなければならない。照明を吊り下げる位置が低すぎたり、配光角度が 120° 以下の場合、鶏舎内に円錐状の光と暗所ができ、“スポットライト”のようになってしまう（図 16）。“スポットライト”は、照明の取り付け位置や間隔に配慮して設置することで最小限に抑えることができる。不均一な配光は平飼いでもケージシステムでも問題になる。平飼い鶏舎では不均一な照明は影を作り出し、その影が鶏にとってのネストエリアとなり、結果として、巢外卵増加の原因になる。また、ケージやコロニーの鶏舎では、不均一な配光によって同じ鶏舎内でもケージ毎に明るさや、その刺激が異なる原因となる。

LED 照明は、白熱電球や蛍光灯のような熱をあまり発しないため、樹脂やポリカーボネートの材質が光を拡散させるためのレンズとして利用できる。レンズの使用により光の拡散がより良くなっている最新の LED 照明であっても、照明システムの計画、配置、照度、用途を考慮するときには、LED 照明の光に方向性があることを理解しておく必要がある。

ほとんどの LED メーカーは、どのような施設に対しても必要とされる照明を適正に設置するための距離、高さ、ルーメン出力を算定するコンピュータプログラムを持っている。

異なった養鶏システムにおけるルーメンと指向性について

コロニーケージ内では、ネストは影になるようにして、スクラッチパッド（つめ研ぎ場）と給餌/給水ラインを照らす指向性の照明を選択する。

LED 照明をケージの外の通路に設置する場合は、適正な指向性の照明を使用することで、図 17 で示すようにケージの全段に均等な照度を与えることができる。

照明のルーメン出力は、ピーク波長スペクトルから成り立っている訳ではない。例えば、同じ 800 ルーメンと記載されている LED 照明でも、その光に含まれるスペクトルが異なる場合、鶏は異なる反応を発現する。色度（K）は光源の全スペクトルの特性を正確には示しているわけではないが、この色度で評価すると、照度が同じような光源を区別する助けになる。



この鶏舎に設置されている LED 照明は指向性が強すぎ（光の角度が狭い）、また照明器具間の距離が開きすぎており、明るさが十分でない。これらの要因は、床にはっきりとした影をつくり、ケージへの光が不均一になる。

図 16. “スポットライト”状態の鶏舎内



図 17. ケージ全段を均一に照明されている鶏舎内

LED 照明のちらつき（フリッカー）について

一般的な LED 照明は、ヒトの目には連続した光に見える場合でも、実際には一定の周波数で高速に点滅（明るさが変化）していることがあり、この現象をフリッカーという。主な原因は、交流電源を直流に変換する際の周期的な電流の変動であり、これにより光量が変化する。フリッカーはヒトに対して眼精疲労や不快感の原因となることがあるため、ヒト用の照明器具では現在、フリッカーに関する基準や指針が示されている。一方、鶏はヒトよりも光の変化を敏感に捉える能力が高く、ヒト用の基準を満たした照明であっても、落ち着きの低下やストレスの増加など、生産性や行動に影響する可能性がある。したがって、鶏の成績や行動に問題が見られる場合には、飼養環境の要因の一つとして照明のフリッカーについても確認してほしい。

電気的な要件 LED 照明に対応する設備

配線

LED 照明を導入するには、舍内に既設の電気配線とは異なる配線が必要になる場合がある。LED 照明を新たに設置する前に、最適な配線方法を確認することを推奨する。

LED 照明の調光

LED 照明を調光するには、調光に対応した LED 照明を使用し、さらに調光器と LED 照明との相性に注意する必要がある。相性が悪いと、光にちらつきが発生したり、オーバーヒートしたり、寿命が短くなる原因になる場合がある。LED 照明は白熱電球のような単純な抵抗フィラメントではないため、ワット出力をコントロールして複雑な電気負荷を制御できる調光器が必要になる。つまり、LED 照明のすべてが調光用に設計されているわけではないし、必ずしも全ての調光用 LED 照明が意図するように機能するとは限らないのである。

したがって、優れた調光用の LED 照明であっても、適正な調光器を必要とするため LED メーカーと連携して、正しい調光器を確実に導入する必要がある。優れた LED 用の調光器は、調光したときに一定の性能を確保するよう調光器内に抵抗を持っている。LED 照明は調光すると効率性を維持し、寿命が延びる場合がある。白熱電球用と LED 用の調光器は、どちらも同じように機能するが、LED 用の調光器はワット出力をより細かくコントロールしなければならない。例えば、ある調光器の出力を 50%にしたときに、その出力が ± 3 ワットで変動する場合、60 ワットの白熱電球は 27～33 ワットで変動する。これはヒトの目ではほとんど分からない。同じ調光器で 10 ワットの LED 照明を使用すると、2～8 ワットで変動することになる。電球に進入する電力の大きな変化は、顕著なちらつきの原因になり、たとえわずかな電力の変動でも、調光用の LED 照明にとっては大きなちらつきの原因になり得る。

タイプの選択 LED 照明タイプの特徴を理解して選択

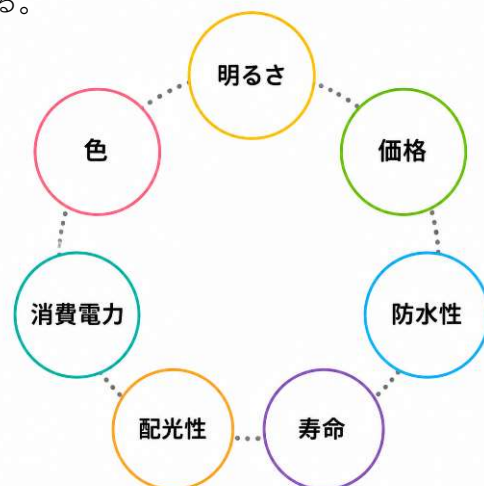
現在利用できる LED 照明のタイプは大きく分けて 3 種類あるが、それぞれに特徴がある。また製品によっても配光角度が異なる。それぞれの特徴を理解して選択することが重要である。

1. 養鶏専用 LED 照明

養鶏専用 LED 照明は最も高価であるが、家禽の視覚で設計されており、それらのメーカーは養鶏産業のニーズを理解している。これらの照明は通常、鶏舎内の掃除や消毒作業に耐えられると評価されている。

2. 農業用の一般的な LED 照明

一般的な農業規格の LED 照明は通常、鶏舎の環境状態に耐える。これらの照明は養鶏専用 LED 照明より少し安価であるが、それらの仕様（光出力、スペクトル、保証、防水レベルを含めて）を設置前に把握しておくことが重要である。



3. 家庭用の標準 LED 照明

家庭用の標準 LED 照明も鶏舎内で使用されている場合がある。これらの照明は、一般的に 1 日 16 時間の使用について評価されておらず、調光性能が未熟であったり、不適切な放熱板や回路による電球切れが起こったりする場合がある。

配光角度の違い

配光角度の違いにより理想的な使用方法が異なってくる。配光角度が非常に小さい照明（30～50°）は、間隔を狭めて（1.8～2.4m）設置することで背の高いケージの鶏舎でも均等に光を供給できる。広範囲を照らせる照明（180°以上）は、平飼いやエイビアリー鶏舎においてより有効である。中程度の配光角度の照明（90～150°）は、設置間隔や光束にもよるが、いろいろな環境で使うことができる。

まとめ

点灯時間（明るい時間の長さ）、スペクトル、明るさは、鶏が最適な時期に産卵ピークに達し、長期間の産卵を継続するのにとても重要である。養鶏生産者にとって利用可能な照明の選択肢は幾つかあるが、LED 照明は、エネルギー効率、信頼性、長寿命の特長によりますます活用されている。LED 照明の利用が増えるにつれ、様々な鶏舎での適切な利用方法に関する理解が深まっていくだろう。

出典

Technical Update 2015 (Hy-Line International)

“UNDERSTANDING POULTRY LIGHTING”



引用文献

- *1.Prescott, N. B., and C. M. Wathes. “Spectral sensitivity of the domestic fowl (*Gallus g. domesticus*).” *British poultry science* 40.3 (1999): 332–339.
- *2.Hartwig, H. G., and Th Van Veen. “Spectral characteristics of visible radiation penetrating into the brain and stimulating extraretinal photoreceptors.” *Journal of comparative physiology* 130.3 (1979): 277–282.
- *3.Rozenboim, I., et al. “The effect of a green and blue monochromatic light combination on broiler growth and development.” *Poultry science* 83.5 (2004): 842–845. 5. “Light Quality.” *ENERGY STAR Fixtures Guide*. N.p., n.d. Web. 28 Apr. 2015.
- *4.Huber-Eicher, B., A. Suter, and P. Spring- Stähli. “Effects of colored light-emitting diode illumination on behavior and performance of laying hens.” *Poultry science* 92.4 (2013): 869–873.

画像の引用元

- ☒ 1. Adapted from Prescott and Wathes, 1999
- ☒ 2. Adapted from Schubert, 2006
- ☒ 3. Hy-Line International
- ☒ 4. Encyclopaedia Britannica, Inc. 2007
- ☒ 5. www.mediacollege.com
- ☒ 6～17. Hy-Line International