

食品照明用 LED の開発

Development of LED for Food Lighting

田中 芳憲*
Yoshinori Tanaka

概要 政府は「新成長戦略」「エネルギー基本計画」の中で、LEDやレーザーなどSSL照明の占有率目標を、2030年にストック市場で100%化を目指すとして発表している。それを受け、国内照明メーカーは蛍光灯や水銀ランプ等の既存光源の生産終了を進めている。その中には、色評価用等の特殊な機能を付加した「光の質」を重視した光源も含まれる。既存光源の「光の質」に満足していたエンドユーザーにとっては、置き換えても特殊機能を損なわない次世代照明が必須となる。本報告では、「光の質」を重視した光源の一つである食品照明用LEDの開発に至る、各種食材の光学的性質からのアプローチを踏まえ報告する。

1. まえがき

住宅・オフィスを中心に照明用白色LEDの普及が進む中、「光の質」を重視する用途・市場がある。例えば、印刷物色検査用などの照射物の色の見え方を重視した光源や、半導体製造工場でフォトレジストが露光により硬化しないよう短波長領域をカットした光源等が挙げられる。本報告では、スーパーマーケットなどで用いられる食品照明用に適したLEDを開発したので報告する。

一般的に白色LEDは、図1に示すように、青色励起方式が主流となっている。青色LEDの一部を蛍光体緑、

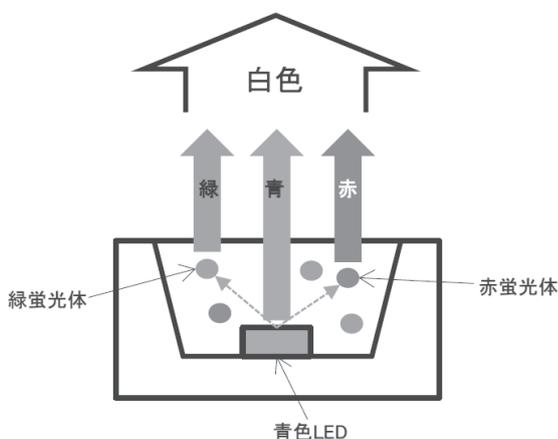


図1 白色LEDの発光方式

赤の励起光源として使用し、透過した青色光と励起光である緑色と赤色の混色で、白色光を実現する。

また、発光スペクトルの形状を変えることで、効率を重視したLED、あるいは、演色性を重視したLEDを、用途に応じて調整する（効率と演色性にトレードオフが存在する）。ここでいう演色性とは、対象となる照明装置で照射された被照物の様々な「色合い」の確かさのことである。この評価は表1に示す国際照明委員会(CIE)が定めた15種類の試験色の見え方で判定する。

特に平均演色評価数RaはR1～R8の平均値であり、LEDや照明のカタログ等によく記載される代表特性である。その他に、原色系を含んだ特殊演色評価数(R9～R15)もある。発光スペクトルを太陽光のような連続的なスペクトル形状に近づけていくと、演色評価数は高まる(最大100となる)。図2に一般的な白色LEDの発光スペクトルと各演色評価数を示す。

表1 CRI 試験色

番号	試験色	マンセル表色	番号	試験色	マンセル表色
R1	暗い灰色	7.5R6/4	R9	赤	4.5R4/13
R2	暗い黄	5Y6/4	R10	黄	5Y8/10
R3	ふかみの黄緑	5GY6/8	R11	緑	4.5G5/8
R4	黄みの緑	2.5G6/6	R12	青	3PB3/11
R5	うすい青緑	10BG6/4	R13	西洋人女性の顔色	5YR8/4
R6	うすい青	5PB6/8	R14	木の葉の緑	5GY4/4
R7	うすい紫	2.5P6/8	R15	日本人女性の顔色	1YR6/4
R8	赤みの紫	10P6/8			

* デバイス事業本部 技術本部 オプト事業部
オプト技術開発課

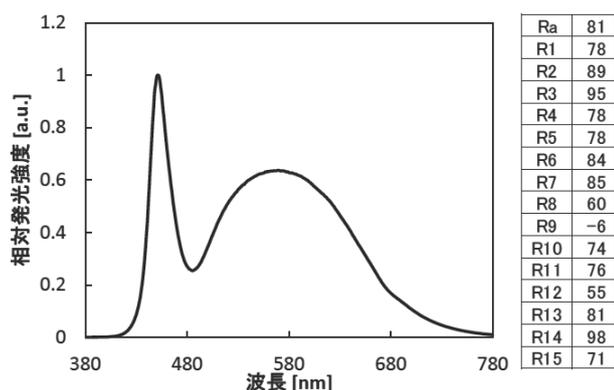


図2 LEDの各演色性の発光スペクトル(代表例)

2. 各種食材に求められる光の質

レモンを見ると自然に唾液が出るように、人間は食材を味覚で味わう前に視覚でその味を予測する。食材を照射する光源は、視覚に働きかけ、購買誘因に影響を与える重要な役割を担っている。今回、食品照明用LEDを開発するにあたり、各種食材(鮮魚、青果、惣菜・パン、精肉)の光学的性質からアプローチした。

2.1 鮮魚

サンマやイワシなどの腹部が銀白色の鮮魚は、皮膚に含まれる核酸であるグアニンの結晶板と細胞質の多重層薄膜を形成した構造をもち、光を反射する膜が何層にも重なって多層膜干渉をおこす。一層の光学的厚さは100~150nm程度(=可視光波長の1/4の光学的厚さ)で重なっているため、反射率は非常に高く、可視光波長域の光はほぼ反射される。多層膜で反射された光が干渉しあい、膜の厚さにより見る角度によって、強めあう波長、弱めあう波長が変わる(図3)。このため、鮮魚を照射する光源としては、可視光波長をバランス良く含む5,000Kの高演色タイプが望ましいと考えた。

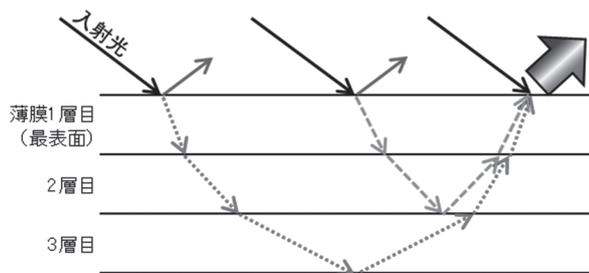


図3 多重層薄膜による干渉

2.2 青果

野菜や果物の色は、多色多様であるが、そのほとんど

は中間色の部類になる。この場合、平均演色評価数Raを重視する。一方、トマトやピーマンなど濃い色の青果に対しては、特殊演色評価数R9~R15で見え方の評価が可能である。図4は、 $W^*u^*v^*$ 色空間のものを $L^*a^*b^*$ 色空間に変換し、CIE試験色15色をプロットしたものである。R1~R8は黒点線の外周付近の8点の試験色で、R9~R12は黒点線外の彩度の高い試験色であることがわかる。よって、青果を照射する光源としては、平均演色評価数Raが高く、かつ見え方の際立つR9も高い光源が最適な光源と考えた。

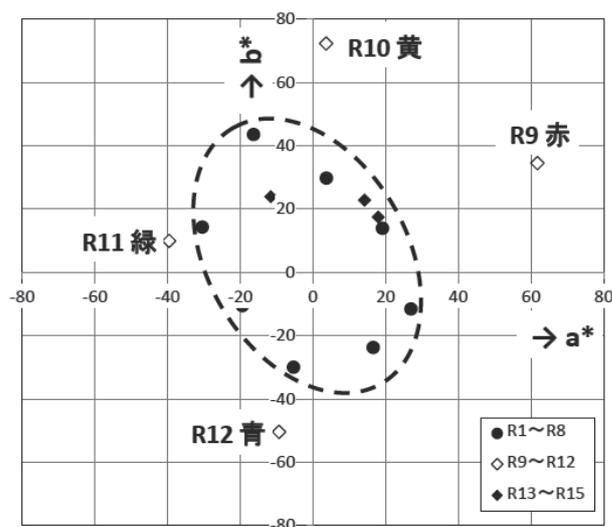


図4 $L^*a^*b^*$ 色空間でのCIE試験色プロット

2.3 惣菜・パン

惣菜、特に揚げ物やパンは、焦げ目などをよく演色することで、購買誘因効果が高まる。様々な色温度の光源で惣菜・パンを照射し見え方の実験をしたところ、3,000Kでは照射物に陰影ができにくく、特にパンは焦げていない白い部分はぼんやりと、焦げている部分は強調され、立体的でふっくらしたように見える(図5)。また、図6にパンの反射スペクトルを示す。焦げ目の部分は、青~緑の波長領域で吸収されるが、焦げていない部分は全ての可視光領域で反射され、パン表面にコントラストが生じる。照射する光源としては、コントラストの生じやすい黄~赤色を多く含む3,000Kの高演色が望ましいと考えた。また、見え方の実験から、照射する方向も重要であると気付いた。ベーカリーショップ等では天井のみ照明を配置しているのではなく、棚の間に陳列されたパンが美味しく見える演出をしているように、色々な方向から照明器具を配置することもあわせて重要になる。

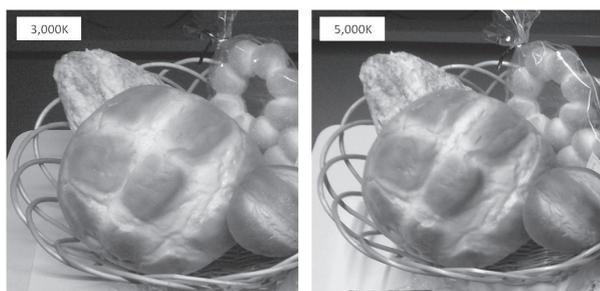


図5 各色温度の光を照射したパン

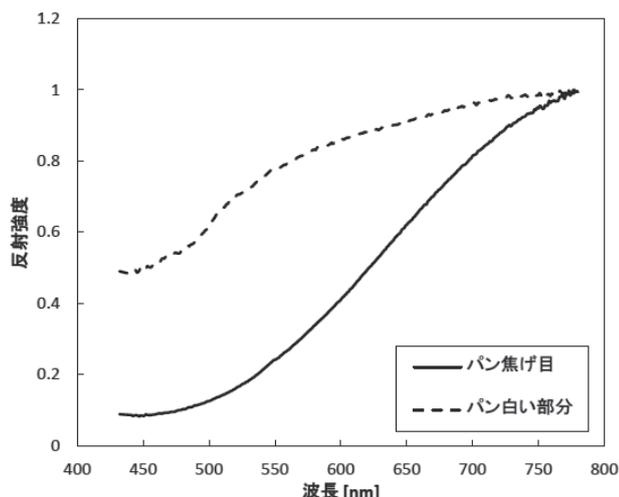


図6 パンの反射スペクトル

2.4 精肉

精肉では、脂身の白色を残しながら赤身を綺麗に演出することが求められる。精肉専用の蛍光ランプの演色評価数R9(赤)を調査したところ、-90以下であった。精肉の赤身に求められているものが「自然な色合い」ではないことが伺える。図7に代表的な精肉専用の蛍光ランプのスペクトルを示す。このような半値幅の狭いスペクトル群をLEDで表現することは困難であり、色の見え方を再現する手法からアプローチした。

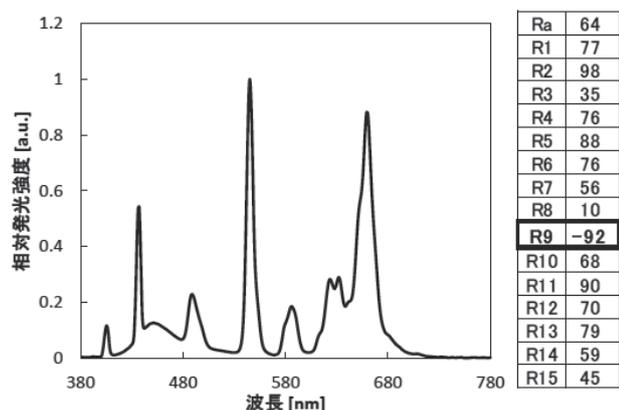


図7 精肉専用蛍光管の発光スペクトル

精肉の赤色成分は、種類や部位などによらず、ミオグロビン (Mb) という鉄を中心を持った水溶性のタンパク質によるものである。この濃度で色合いが決定されている。新鮮な肉のMbは還元型RMbと呼ばれ、外部酸化で劣化し褐色化したMbはメト型MMbと呼ばれている。RMbとMMbの反射スペクトルを図8に示す。

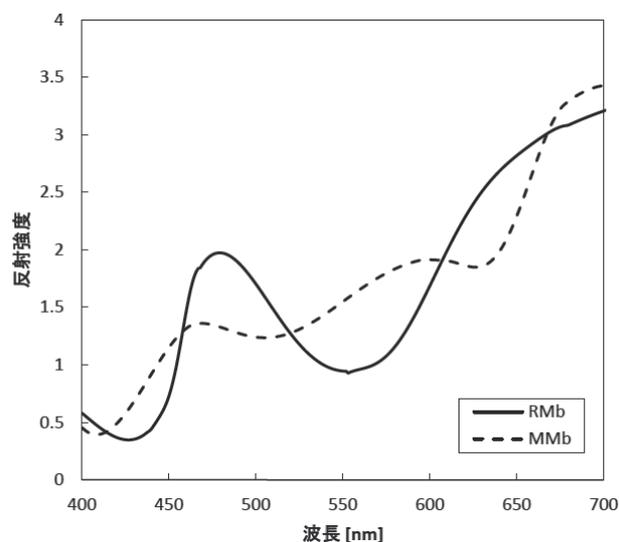


図8 ミオグロビンの反射スペクトル

このRMbの反射成分=赤色成分を再現できる白色光を、図7とは異なるスペクトルで実現させることが課題になる。図9に精肉用LEDの色域をL*a*b*色空間に展開したものを示す。同図の拡大図は、精肉の赤色系に相当する領域である。太線は精肉専用蛍光ランプの色域で、今回の目標線とした。この目標線に近づくほどLEDで照射される精肉の赤色が鮮明になっていくことを見出した⁽¹⁾。これは魚の赤身に対しても同様の説明ができ、先述の魚の銀白色とは異なるため、魚の種類に応じて光源の使い分けが必要である。

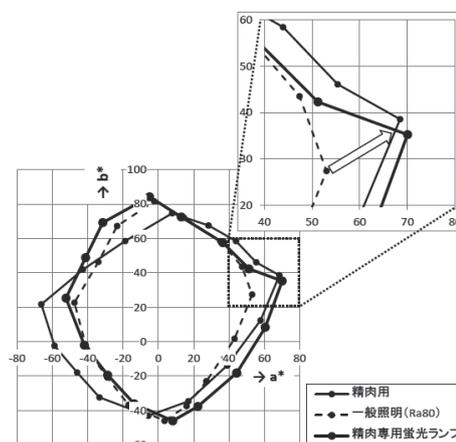


図9 L*a*b*色空間での精肉用LEDプロット

2.5 まとめ

以上のことから、各食材に適切な照明光源としては色温度と色の見え方の忠実度の観点から、図10のように分類される。

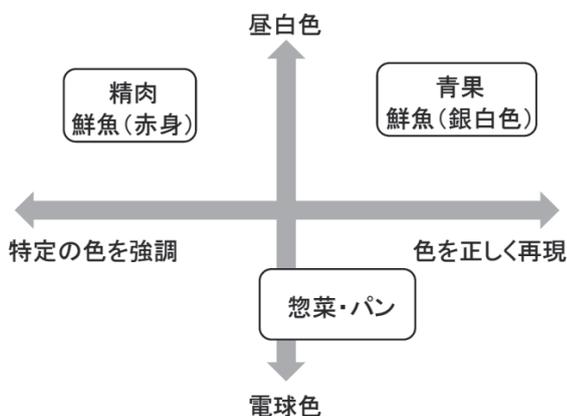


図10 各種食材に求められる光の質

3. 各種食材に適したLEDの実用化

先述の各食材に対する光の質を実現するのに、部材選定、特にLED素子と蛍光体の選定が重要になる。ここでは、長期点灯劣化におけるスペクトルの変形を抑えるため、かつ、簡便に色度やRaの合わせ込みができるよう、使用する蛍光体の種類を抑え、一般照明用途で十分に実績のある青色LED素子と蛍光体、その他部材を組み合わせ選択した。以下に各食材に応じたLEDの発光スペクトルと各演色評価数を図11に示す。鮮魚・青果用は可視光波長をバランス良く含み、Ra=93に加え、原色系であるR9~R15も一般照明(図2)と比較すると向上している(図11a)。惣菜用は黄~赤色領域の波長を多く含むスペクトルを形成した(図11b)。精肉用は赤色波長を強め、黄~橙色の波長を抑え、凹凸の大きいスペクトルを形成することで、白色光を維持しつつ精肉の赤色を強調できた(図11c)。

4. むすび

各食材の特性に応じた、適切なスペクトルを有した食品照明用LEDを開発した。このような光源をスーパーマーケットのような店舗照明のみでなく、一般住居に普及できるよう、コストも重要だが、演色性のような知識を啓蒙してることが重要と考えている。また、食品照明のような色を重視する特殊色光源の答えは一つではなく、様々な顧客要求の理解が最も重要になる。数値上で判断するだけではなく、実際に照らされたもの見え方を確認した上で、今回のように部材選定や組み合わせでスペクトルを制御することが求められる。

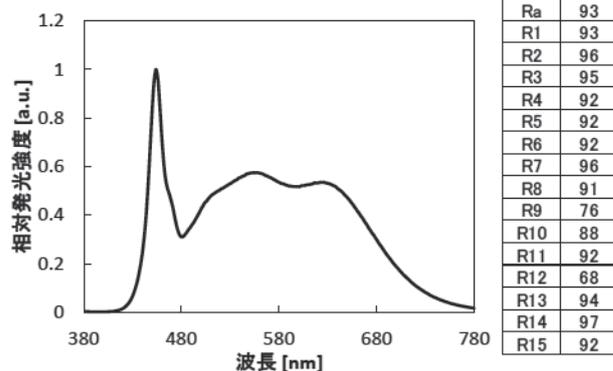


図11a 鮮魚・青果用LED 特性

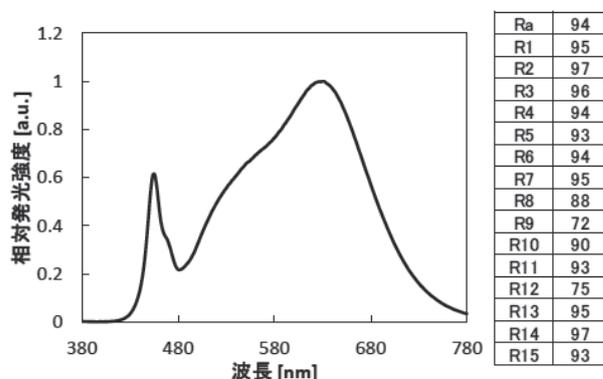


図11b 惣菜・パン用LED 特性

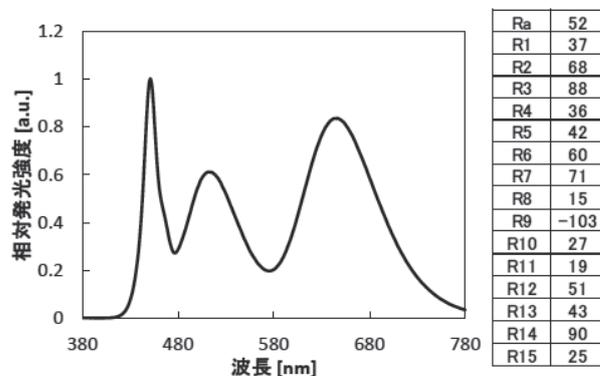


図11c 精肉用LED 特性

参考文献

- (1) 室伏, 星野, 田中:サンケン技報, vol.47, p.57-60, (2015.11)