

Web 会議用 LED 光源開発の取り組み

Efforts to Develop LED Light Sources for Web Conferencing

佐藤 充孝*
Mitsutaka Sato

佐藤 雅裕*
Masahiro Sato

概要 新型コロナウイルス感染拡大以降のニューノーマル社会において、テレワークの普及により多くの企業や団体でWeb会議をおこなう機会が増加している。しかしながら、Webカメラを用いたオンライン会議で使用するLED光源の分光強度分布による顔の印象に与える影響について、具体的な知見や十分な検証は得られていない。そこで、当社の蛍光体技術を応用して開発した超高演色や赤み強調などの各種LEDを用い、大学の協力を得て、Webカメラに使用するLED光源の分光強度分布が、撮影画像の顔の見え方に与える影響について評価した。結果、ビビッドカラーと超高演色のLED評価点数が高く、一般的な演色評価数のLEDでは中間値となり、赤み強調のLEDでは低い評価点数となった。

1. まえがき

人の顔を照らすLED光源とはどのような性能が求められるのか？

Web会議用LEDとして何が最適なのか、の疑問から事前検討(図1)をおこなった。3000K~6500Kの超高演色や赤み強調、ブルーライト低減などの各種LEDで顔を照らした画像を作成し、社内にて感想を集めた結果、低いよりは高い演色評価数、色白よりは赤みがかった顔の方が好印象の傾向であった。

そこで顔を照らすLED光源には高い演色評価数や赤み成分が必要と考え、当社のLEDラインアップから高演色や赤みの強いLEDを選定した。また、赤みを増しつつ高演色なビビッドカラーLEDを開発し、評価した。なお、色温度による顔色の評価には先行事例があり、色温度によって顔色評価結果が変わらない⁽¹⁾とのことから、色温度は5000Kを中心として揃えた。また、比較として演色評価数(Ra80)の一般LED(5000K)も準備した。

これらのLEDの研究・評価を千葉大学 大学院 融合理工学府 創成工学専攻 イメージング科学コース 視覚工学研究室(溝上・佐藤研究室)へ依頼し、その効果について検証した。

2. Web会議用LED光源の開発

LEDは一般的に青色LEDチップと黄色蛍光体の組合せにより疑似白色を実現し、発光効率を高めてきたが、赤み成分が不足する課題がある。現在は照明用途としても不自然でない程度には改善が進められているが、それでも赤み成分が不足していることには変わりがない。

そこで自然な赤みが再現できる超高演色LEDや赤みを強調したLED(精肉用LED)に加え、赤み成分を追加したビビッドカラーLEDを開発した。ビビッドカラーLEDは、具体的には黒体放射線から赤み方向にシフトさせた色度をもつLEDであると同時に演色評価数を確保していることが特徴となる。

| No. | 品名 | Webカメラ1 | Webカメラ2 |
|-----|--------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | SEP1FN1L89 赤み強調 かつ自然な白味 |  |  |
| 2 | SEP1YN1L72(5000K) SEP1YL1L72(3000K) SEP2AM1L92(6500K) 高演色 |  |  |
| 3 | SEP2AQ1L92 超高演色 ブルーライト低減 |  |  |
| 4 | SEP1KN1L01 自然な白色(Ra80) ブルーライト低減 |  |  |

図1 事前検討データ(抜粋)

*マーケティング本部 パワーデバイス開発統括部
オプト技術部 FAE・マーケティング課

2.1 ビビッドカラーLEDの設計

一般的に黒体放射線から色度が離れるほど演色評価数は低下する。ビビッドカラーLEDには赤み方向にシフトした色度と同時に高い演色評価数も求められるため、赤蛍光体を追加しながら広範囲でフラットなスペクトルを目指した。具体的な演色評価数と発光効率、色度目標を表1に示す。

表1 ビビッドカラーLEDの目標仕様

| 発光効率 [lm/W] | 演色評価数 | | | 色温度 d_{uv} |
|----------------|-------|-------|----------|----------------|
| | R_a | R_9 | R_{15} | |
| 120 以上 | 90 以上 | | | 5000K -0.01 |

ここで演色評価数とは基準光源で照らされた物体の色をどの程度再現しているかを表す指標であり、100までの指標で表され、基準光源と同じ見え方をすることは100となる。 $R_1 \sim R_{15}$ の色指標に対して演色評価数を計算するが、 R_a は淡い中間色系の色 $R_1 \sim R_8$ の平均値であり、 $R_9 \sim R_{15}$ は原色系を含む個別の演色評価数となる。例えば R_9 は赤、 R_{15} は灰みの黄赤(肌色に近い色)の演色評価数となる。ビビッドカラーLEDは赤みと肌色をより再現させるため、 R_9 と R_{15} の演色評価数を90以上の目標とした。 d_{uv} (色偏差)は黒体放射線からどれだけ離れているかの指標であり、+は緑み方向、-は赤み方向に離れていることを表す。

目標の演色評価数、色温度、発光効率を得るための蛍光体を選定し、試作したLEDの測定結果を表2に示す。

表2 ビビッドカラーLEDの特性

| 項目 | 発光効率 [lm/W] | 演色評価数 | | | | | | | | 色温度 d_{uv} |
|-----|----------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------------|
| | | R_a | R_9 | R_{15} | R_{10} | R_{11} | R_{12} | R_{13} | R_{14} | |
| 目標値 | 120 以上 | 90 以上 | | | 参考値 | | | | | 5000K -0.01 |
| 開発品 | 131 | 94 | 89 | 92 | 93 | 89 | 78 | 95 | 94 | 5098K -0.010 |

R_9 が目標値を僅かに下回ったものの、その他は目標値を達成していることが確認できた。 R_9 は89という高い水準であり、今回の評価に支障はないものとする。

2.2 超高演色LED、赤み強調LEDの概要

過去のサンケン技報で触れているが、超高演色LEDと赤み強調LED(精肉用LED)の設計についても概要をここに記載する。

太陽光に対応した基準光源のようなフラットなスペクトルにすることで、超高演色LEDに必要な演色評価数を得ることができるが、それには多くの種類の蛍光体を必要としてしまう。蛍光体の種類が増えると光の変換効

率が低下し、結果としてLEDの発光効率下がってしまう。このように演色評価数と発光効率はトレードオフの関係にあるが、当社は以下の2つの技術を開発することにより、そのトレードオフを改善することに成功した。

- ・ヒトの色覚を表す等色関数(図2)の原理を設計に取り込むことで、励起光および蛍光体構成を最適化。
- ・励起光に長波長の青色LEDチップを採用することで、蛍光体の光変換効率を改善させる。さらに透過光も活用し、発光効率を向上させる。

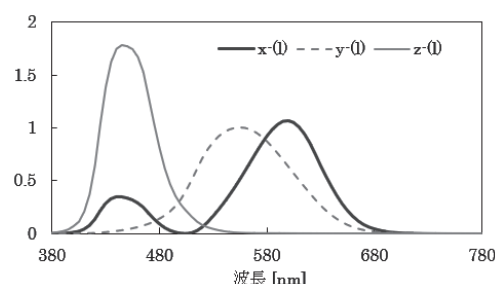


図2 等色関数

赤み強調LEDは食材をおいしく魅せる食品専用色(精肉用)として開発したLEDである。精肉の赤み成分であるミオグロビンというタンパク質の分光反射スペクトル(図3)を解析し、赤み成分を強調しつつ脂身やトレイの白を自然に表現している。前述の超高演色LEDとはまったく異なるアプローチでスペクトル設計されたLEDである。

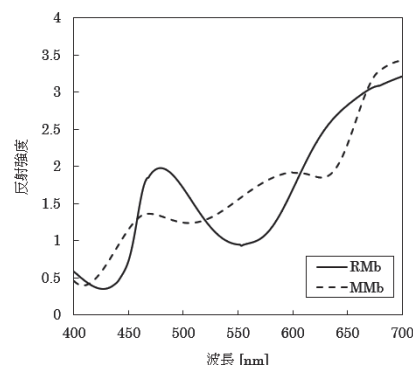


図3 ミオグロビンの反射スペクトル

今回の評価に使用したLEDの演色評価数と色温度、 d_{uv} について、一覧にしたものを表3に示す。

表3 LED特性一覧

| 項目 | 超高演色 | ビビッド | 赤み強調 | 一般 |
|----------|-------|--------|--------|-------|
| 色温度 | 5022 | 5038 | 4779 | 4844 |
| d_{uv} | 0.004 | -0.010 | -0.009 | 0.004 |
| R_a | 98 | 94 | 54 | 83 |
| R_9 | 97 | 89 | -91 | 4 |
| R_{15} | 99 | 92 | 31 | 71 |

3. LED光源が顔の見えに与える影響⁽³⁾⁽⁴⁾⁽⁵⁾

表3で示した当社のLEDを搭載したデスクライトを試作し、千葉大学 大学院 融合理工学府 創成工学専攻 イメージング科学コース 視覚工学研究室(溝上・佐藤研究室)にて評価を実施した。

3.1 先行研究について(経緯と動機付け)

顔に照射する照明の色や分光強度分布により、相手に与える印象が異なる可能性がある⁽²⁾。また、照明の色が顔の印象に与える影響は調べられているものの⁽¹⁾、照明の分光強度分布の影響については十分検証されていない。そこで、Webカメラで撮影する場合、顔を照らす最良の光源用として試作したLEDをデスクライトに組み込んで千葉大学に評価を依頼したところ、一定の知見を得ることができた。

3.2 実験内容

実験に使用した撮影環境を図4に示す。部屋を模したブースにおいて、表4に示す10種類のカメラで撮影した。被写体のモデルに当てるデスクライト(直管型LED光源)には、相関色温度がほぼ同等で分光強度分布が異なる4種類の白色系(5000K)を用意した。図5に用意したLEDの分光強度分布を示す。

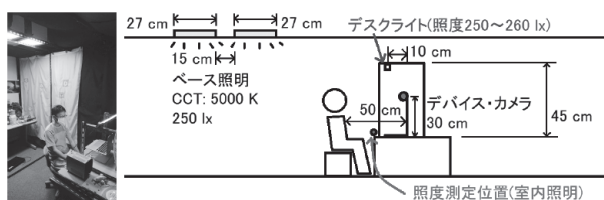


図4 顔撮影の様子(実際の撮影時はマスク未着用)⁽³⁾

表4 実験に使用したカメラの主な仕様

| カメラ | 種類 | OS | 画素数 | オートフォーカス | 視野角 | ホワイトバランス |
|-----|---------|--------------------|-----------|----------|------|----------|
| A | ノートパソコン | macOS (Early 2014) | 1080×720 | 手動 | 不明 | × |
| B | ノートパソコン | Windows 10 Pro | 1280×720 | 手動 | 不明 | ○ |
| C | タブレット | iPadOS | 1280×960 | ○ | 70° | ○ |
| D | ノートパソコン | Windows 10 Pro | 1920×1080 | 手動 | 不明 | ○ |
| E | ノートパソコン | Windows 10 Pro | 1280×720 | 手動 | 不明 | ○ |
| F | 外付け | | 1920×1080 | ○ | 120° | ○ |
| G | 外付け | | 640×480 | 手動 | 不明 | ○ |
| H | 外付け | | 1920×1080 | ○ | 100° | ○ |
| I | 外付け | | 1280×720 | 手動 | 150° | ○ |
| J | 外付け | | 1920×1080 | ○ | 78° | ○ |

デスクライトは、机から45cmの高さ、カメラの手前10cmの位置に配置した。モデルの顔の高さは、机から30cm、カメラから50cmの位置とした。

顔画像評価は、図6のように観察者が暗室内のLCDモニタに映し出される実験映像を見ておこなった。各顔映像の大きさは、視角で11°×11°とした。

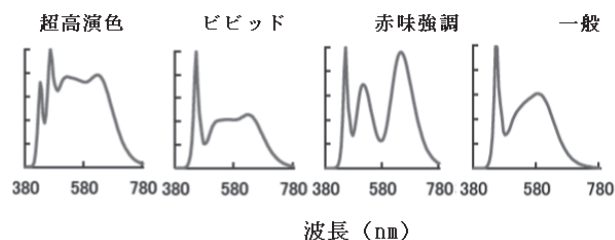


図5 デスクライトに搭載したLEDの分光強度分布

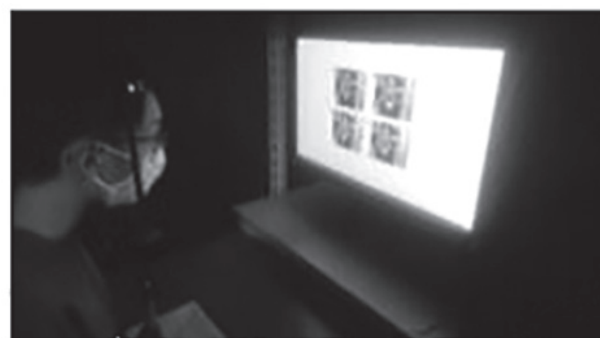


図6 顔画像評価の様子⁽³⁾

3.3 実験手順

顔の見え方を図7に示す9項目に対してそれぞれ7段階で評価した。各項目の点数が高いほど高評価となる。実験手順を図8に示す。観察者は10名とした。映像ごとに観察を1回ずつ、合計10回繰り返した。

・7段階で評価し、目盛の間にも内挿可能

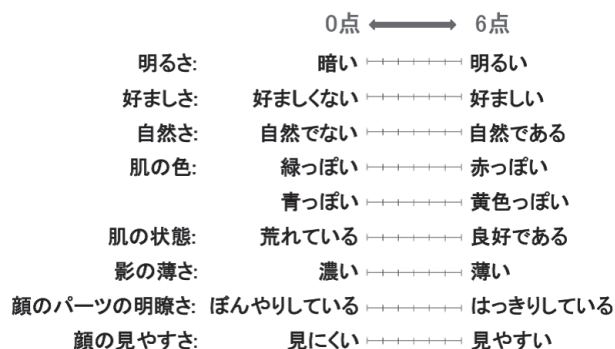


図7 評価項目

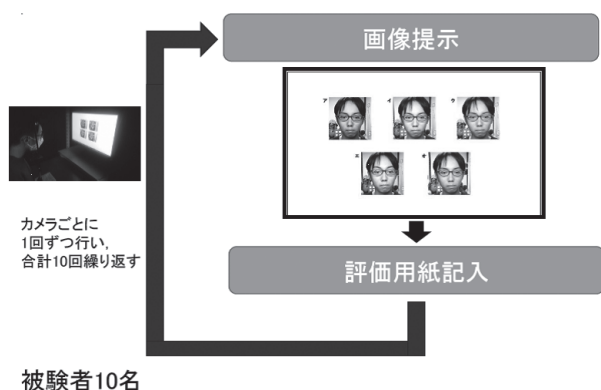


図8 実験手順

3.4 観察者による評価結果

デスクライトの種類ごとに整理した印象評価の結果を図9に示す。横軸は評価項目、縦軸は評価点数である。各デスクライトの結果はそれぞれ棒の高さで示しており、全観察者および全カメラの評価点数を集計した平均値である(エラーバーは標準偏差)。なお、結果の見やすさのため、評価点数の高さが印象評価の優劣に直接関係しない、肌の色・影の薄さの項目は割愛した。ビビッドカラーLEDと高演色LEDの評価が高く、一般型のLEDは中間程度の評価になり、赤み強調のLEDについては、明るさ・好ましさ・自然さでは低い評価点数となった。

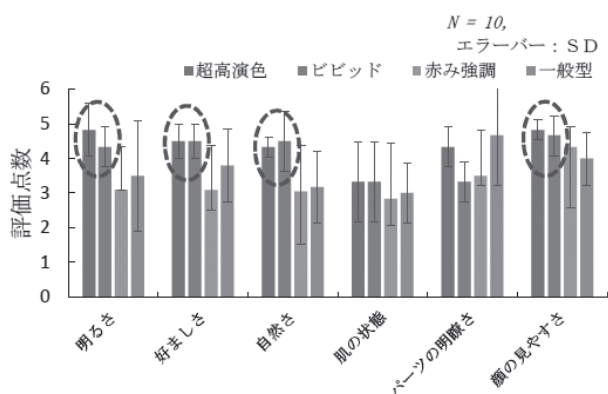


図9 デスクライトの種類ごとの評価結果⁽³⁾

3.5 まとめ

Webカメラに映る際のLED光源の分光強度分布が、撮影画像における顔の見え方に与える影響については、同等の相関色温度を持つLED光源でも、分光強度分布の違いにより印象が異なることがわかった。また、演色評価数が高いLED光源ほど高い評価点数になること、一方、顔の赤みが過度に強調されるLED光源では低い評価点数になることが確認された。

4. むすび

千葉大学での評価から、Webカメラで撮影した映像に対する顔の見え方だけでなく、それによる心理的影響にまで踏み込んだ結果を得ることができた。超高演色LEDとビビッドカラーLEDが顔の印象に良い影響を与えていることが確認された。

なぜこれらのLEDが顔の印象に良い影響を与えているのかは、平均演色評価数 R_a や顔の赤みと印象評価点数との間に正や負の相関があることを千葉大学にて考察しているが、結論には至っていない。我々は、演色評価数と赤みとのバランスが重要になるのではないかと考えている。

今後の千葉大学での取り組みとして、今回評価した静止画だけでなく、動画の場合はどのような評価結果になるのか、対面では評価結果が変わるのかなど、さらに深掘りした研究が検討されている。ランプの種類を追加して、演色評価数や顔の赤みと顔の見え方についての相関を補強する実験も検討されている。

我々もこれらの研究成果を世の中のニーズに訴求するべく、プロモーション活動を通じて、広く拡販を目指していく。今後は演色評価数(赤み)の影響を絞り込んでいきながら、さらなる光源の改良に取り組んでいく。

本成果は多くの方の協力によって得られたものであり、千葉大学 大学院 融合理工学府 創成工学専攻 イメージング科学コース 溝上陽子教授、佐藤弘美助教授、岩崎拓真様(M1)をはじめ、社内関係各位に感謝致します。

参考文献

- (1) 矢野, 橋本: 照明光の色温度の違いによる顔色の評価, 照明学会誌, 79-11 (1995) 665-671
- (2) 佐藤, 瀧田, 小堀, 小松原, 鈴木: 素肌・化粧肌の見えに及ぼす照明の影響, 照明学会誌, 77 10 1993 627 635
- (3) 岩崎, 佐藤, 溝上: WEB会議における顔の見えに対する照明の影響, 照明学会 2021年
- (4) 岩崎, 佐藤, 溝上: 照明の分光強度分布がオンライン会議における顔の見えに与える影響, 日本色彩学会 全国大会 2022年
- (5) Takuma Iwasaki, Hiromi Sato, Yoko Mizokami: How Does the Lighting Condition Affect Facial Appearance at an Online Meeting? 13th Asia Lighting Conference, 2022年