

フルカラーセンサにおける LED の色合成と制御技術の開発

和泉電気(株) 野村光俊, 稲田宏治, 鷹尾健, 藤田 俊弘

Development of Technologies for Light Combination and Signal Control in Full Color Sensor Using LEDs

Mitsutoshi Nomura, Koji Inada, Takeshi Takao, and Toshihiro Fujita,
IDEC IZUMI Corporation

Abstract : Full Color Sensors, detecting objects by their color recognition, differ in their characteristics depending on the type of light sources being utilized. Full Color Sensors utilizing incandescent lamps as the light source can offer high sensitivity to a good variation of colors. Even so, there are several disadvantages in utilizing incandescent lamps such as short lifetime, high electric consumption, high heat emission, and large size.

To solve these problems, we have developed Full Color Sensor employing three different color Light Emitting Diodes in red, green, and blue. In this paper, new technologies for light combination and signal control, and an example of field application are described.

1. はじめに

色を測定する手段には視覚的測色方法と物理的測色方法があり^[1],前者は測色者の眼球における分光特性のばらつきや疲労などにより安定した測色が困難なため,色彩計など後者による測色が一般的である。しかし,このような色彩計^{[2][3]}は,積分球を使用した複雑な光学系が必要であり,FA(Factory Automation)現場では抜き取り検査による品質管理に使用されることはあるが,高速処理が要求されるコンベア上のリアルタイム測定には使用されていない。

FA分野における色判別の必要性に答えるため,われわれは世界で初めてオンラインで使用できるフルカラーセンサを既に開発した^[4-6]。このセンサはコンベア上で色による製品の異種混入判別に使用でき,樹脂ボトルの異種混入,各種びんの王冠の異種混入など多くのアプリケーションで利用されている。しかし,光源にハロゲン電球を使用しているため,使用用途が限られているため更に使いやすいセンサが求められてきた。

その要望に答えるべく,センサの光源として光の3

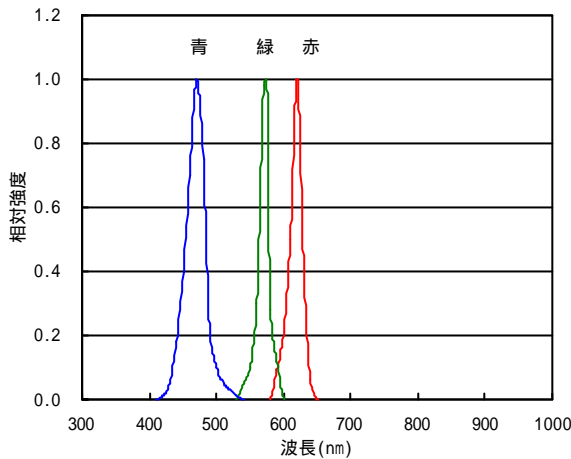
原色である赤,緑,青色のLEDを使用したフルカラーセンサを開発した^[7-9]。光源のLED化は今まで青色LEDの輝度が低かったためカラーセンサに対応できなかったが近年高輝度化が進み実現できた^[10-14]。

本稿では,3原色LEDを用いたフルカラーセンサについて,要素技術である色合成技術,信号処理の制御技術の概要と効果および優位点などを報告する。

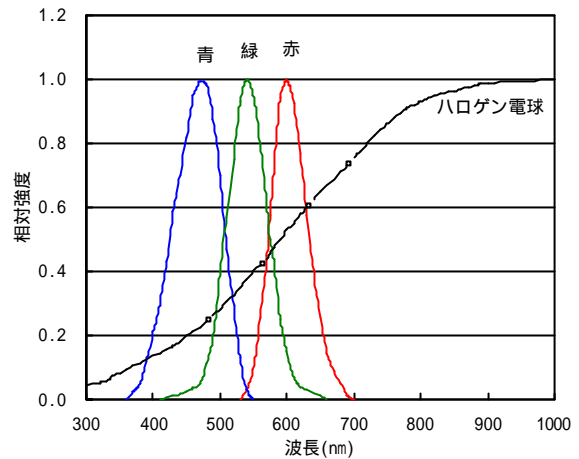
2. 背景

フルカラーセンサは,人が色を判別する原理を応用しており^[15-18],検出体からの反射光を赤,緑,青の各成分に分解し,その強度比率により色を判別するセンサで,あらかじめ記憶させた基準色の3原色の強度比率と計測している検出体の3原色の強度比率が一致しているかを判断するものである。

従来,フルカラーセンサと言えば光源にハロゲン電球を使用しているものを指し,検出体からの反射光を赤,緑,青のカラーフィルタで分解してそれらの光量を測定し色判別に用いられてきた。



(a) 3原色LEDの発光スペクトル



(b)ハロゲン電球の発光スペクトルとカラーフィルタの分光特性

図1 フルカラーセンサに使用している光源の波長スペクトル

今回新規に提案する光学系に使用している3色LEDの発光スペクトルを図1(a)に示すが、これはピーク波長の強度を1とした場合の相対強度を示している。またハロゲン電球の発光スペクトル、使用しているカラーフィルタの透過率を同様に図1(b)に示す。

3原色LEDは各LEDにおいて発光波長の半値幅が狭いため分散的なスペクトルとなっており、3原色に分解できない波長領域が存在することになり、色判別が低下することになる。一方、ハロゲン電球は可視光の波長範囲である380~780nm^[19]にわたって連続的に発光しており、カラーフィルタを使用して広い範囲の光を分解できる。したがってハロゲン電球を使用したフルカラーセンサは、高い色判別能力を保有していることが長所として挙げられる。

しかし、ハロゲン電球は消費電力が大きく、発熱に対する放熱対策として筐体は金属製で形状を大きくしなければならず、また熱による内部の温度上昇が使用している電子部品の定格使用温度範囲を越える可能性があるため、使用できる周囲温度が40以下に限定されていた。しかも電球から放射する光は、測定の信号レベルにおいて直流成分であるので周囲光の変化や特に蛍光灯などの交流光に測定値が影響を受けやすい。

以上の観点から、ハロゲン電球を使用したフルカラーセンサは色判別能力には優れているものの、その欠点により環境の悪い工場内での使用については改善の

余地があった。そこで、これらの欠点を克服し安心して使用できる方式として3原色LEDを使用したフルカラーセンサの検討を行い、色判別能力が高く高速で安定した検出ができる技術を開発した。

3. LEDを使用したフルカラーセンサの構成

図2に今回われわれが開発したフルカラーセンサのブロック図を示す。赤、青、緑の各LEDが発した光は、色合成プリズムにより1つの光に合成され、ハーフミラーによって反射される。その後、レンズを通して照射された光は検出対象により反射され、ハーフミラーを透過してPD(Photo Diode)に集光される。集光された光は、PDで電気信号に変換され増幅器で増幅される。

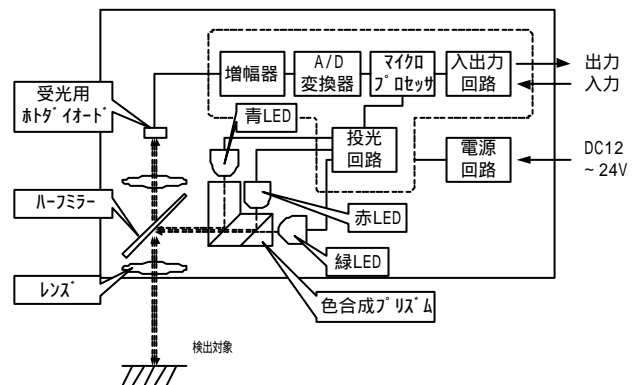


図2 LEDを使用したフルカラーセンサのブロック図

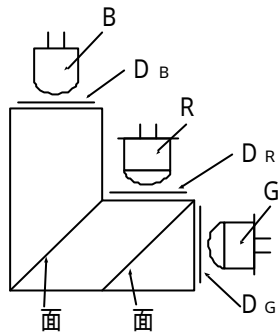
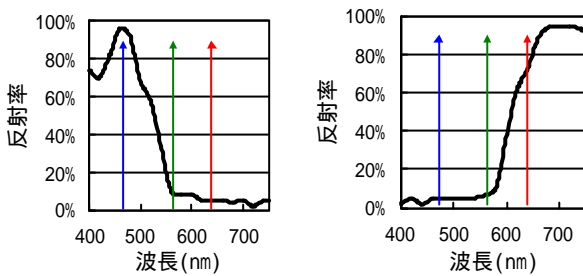


図3 色合成の光学系



(a) 面 (b) 面

図4 色合成プリズムの反射率特性

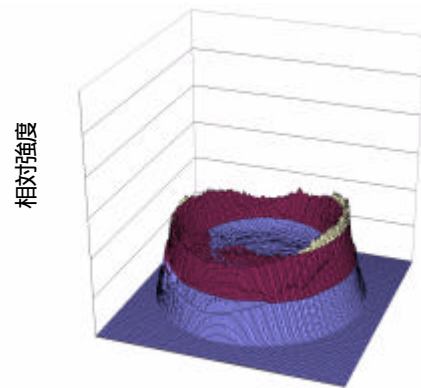
この増幅された信号はA/D(Analog/Digital)変換器でデジタル変換され、マイクロプロセッサに取り込まれる。マイクロプロセッサでは、取り込んだ赤、緑、青色の信号強度の比率を求め、あらかじめ記憶設定させていた基準色の信号強度の比率データと比較して、同じ比率であれば同色と判断し信号を出力する。

4. 要素技術

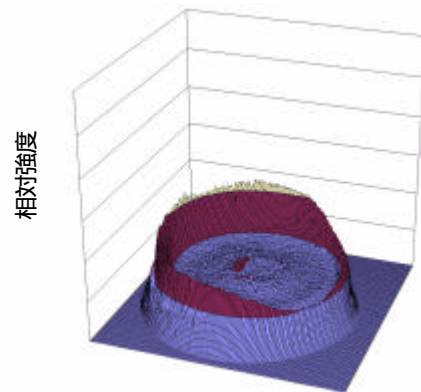
今回のフルカラーセンサで採用している主要な要素技術として、色合成技術と信号処理の制御技術について以下に述べる。

4.1. 色合成技術

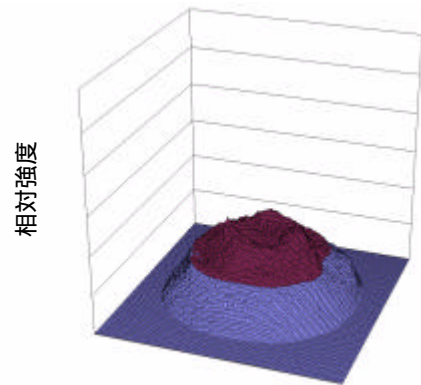
フルカラーセンサにLEDを採用するためには、検出体の表面状態や印刷の模様の影響を受けないように、個別の3色のLED光を合成しセンサ光源として照射光面の強度を均一に安定させなければならない。そのためここでは、色合成プリズムとホログラム拡散板^{[20][21]}を使用した。



(a) R (赤)



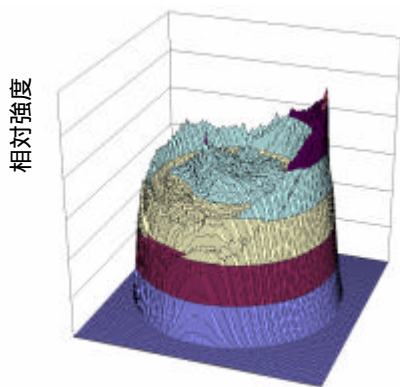
(b) G (緑)



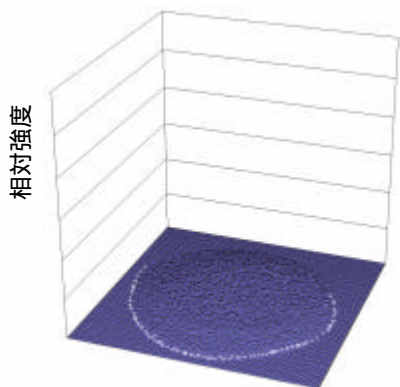
(c) B (青)

図5 3原色LED個別の発光強度分布

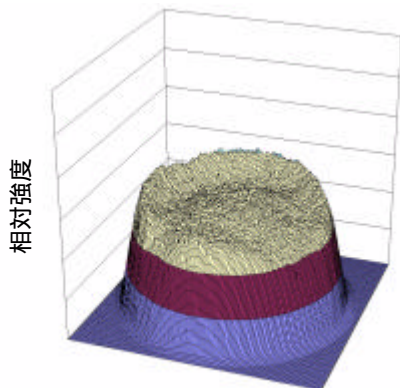
色合成プリズムは、薄膜による光の干渉を利用して可視光の特定波長を反射し、残りの波長領域を透過する多層膜コーティングの技術^[22]を応用している。図3の色合成の光学系に示すように、面は赤色の光を反射し緑色の光を透過し、面は青色の光を反射し赤色と緑色の光を透過する特性となっており、これにより3原色の合成を行っている。図4に色合成プリズムの反射率の波長依存性を示す。面、面ともに45°



(a) 拡散板なし



(b) 乳白拡散板



(c) ホログラム拡散板

図6 3原色LEDを合成した時の発光強度分布

で入射した場合の反射率の波長特性であり、矢印で示しているのは赤、緑、青各LEDのピーク波長である。

図5にCCDを用いて測定した各LEDの発光強度分布を示すが、CCDの測定エリア上の相対強度分布を示している。図5(a)は図3の光学系で赤LEDであるRのみを点灯、同様に図5(b)は緑色LEDであるGのみを、(c)は青色LEDであるBのみを点灯した結果である。なお、ここでは強度を均一にするための拡散板は用い

ていない。図5(a)(b)に示す強度分布は中央に比べ周囲の強度が大きくなっているが、これは使用したLEDのパッケージがCANタイプであり、LEDチップから発した光が金属部で反射し、直接光と反射光が合成されるため外周部が強調されている。また、(b)の強度分布の断面が左右対称でないのはパッケージに対するLEDチップの位置づれのためである。

図5同様に3色が合成された発光強度分布を図6に示す。図5のように強度分布が一様でない、すなわちムラのある光を合成すると図6(a)のようにムラが強調される。検出体の表面状態に影響されない安定した検出性能を実現するためには、この光強度のムラを極力均一化する必要があるため拡散板の使用についての検討を行った。

ここで強度を均一にする手法として、まず乳白色の拡散板を図3で示すように各LEDとプリズム間の D_R 、 D_G 、 D_B に挿入した場合の発光強度分布を図6(b)に示す。拡散板を透過したLEDの光は均一に拡散されてからレンズにより集光されるため、ムラのない均一なスポット光となるが、透過率が低いいためスポットの強度が小さくなり、フルカラーセンサとしては使用できなかった。

そこで透過率が高く、均一な拡散ができるホログラム拡散板を用いた場合の発光強度分布を図6(c)に示す。ここで用いるホログラム拡散板とは、表面にホログラフィーによって記憶された微細パターンが形成されており、この微細パターンによって入射角を均一に拡散できるもので、その透過率は約90%と高い。したがってホログラム拡散板を用いることで図6(c)に示すように均一で損失の少ないスポットが実現でき、検出体の表面状態の影響を受けにくくなった。

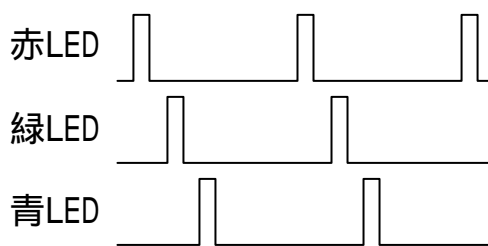
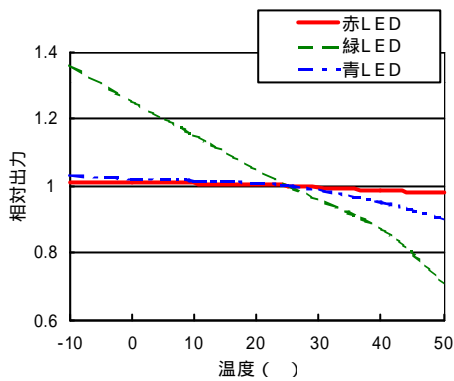
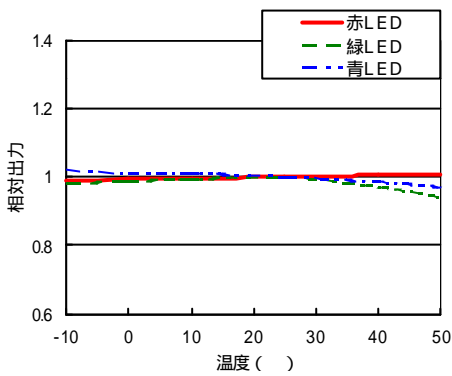


図7 3原色LEDの時分割点灯パルス列



(a) APC なし



(b) APC あり

図 8 3 原色 LED の温度特性

4.2. 信号処理の制御技術

光源の LED 化により、ハロゲン電球を使用した場合の欠点であった発熱が少なくなり、また熱放射対策が不要になったことによる小形化かつ使用温度範囲の拡大も実現されている。ここでは、更に小形化を進めるため LED の時分割点灯と温度変化による色検出性能の安定性を上げるための温度補正を行った。

時分割点灯方式とは、図 7 に示すように赤、緑、青、赤...と時系列に LED を順次点灯し 1 つの PD で信号を受け、その後各色ごとの信号処理を行う方式である。従来の方式では、赤、緑、青の信号を 3 つの PD を使用し、それぞれ 3 系統の信号処理を行っていたが、時分割点灯方式の採用により処理回路が 1 系統となり、使用している電子部品を大幅に削減でき更なる小形化が実現した。また、パルス点灯しているため同期検波方式を

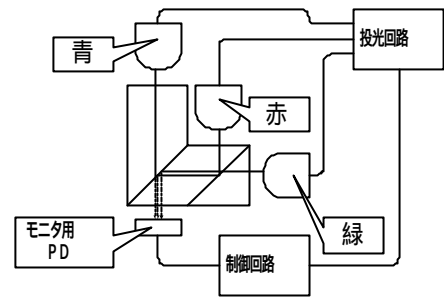


図 9 APC の制御系

採用し外乱光による影響を大幅に改善できた。

一方光源を LED としたため、光源による温度上昇が押さえられ、使用温度範囲が広がったものの、LED の発光出力には温度依存性がありメーカーや種類によって異なる。今回用いた LED の発光強度の温度依存性は図 8 (a) に示すように各 LED で異なっている。これでは、色判別を行うための演算結果が周囲温度の変化による影響を受け誤検出する可能性がある。

そこで、前述の光合成技術を応用し図 9 に示すように常時 LED の発光出力を監視する APC (Auto Power Control) を採用し温度補正を行った。これは、図 4 に示した色合成プリズムにおいて発生している数%程度の青の透過光、緑と赤の反射光を利用し、温度による LED の発光出力の変化を補正するものである。その結果図 8 (b) のように広い温度範囲で LED の発光出力を一定にでき、温度に依存しない安定した検出技術が実現した。

5. アプリケーション

フルカラーセンサの必要なアプリケーションとしては、印刷されたレジマーク検出や樹脂キャップの異種混入検出、ロットナンバーの有無検出など多くのものがある。その中の一例として、図 10 に示すように製函機や封函機に使用されているホットメルト^[23]検出があげられる。ホットメルトとは、樹脂を高温で溶融し使用する接着剤で半透明の微妙な色合いをしており、色判別においては難しいアプリケーションの一つで、従来の光電スイッチでは検出できなかった。またこのラインでは、接着剤の硬化する時間が短いため塗布して直ぐに接着する必要があるため、高温になったホッ

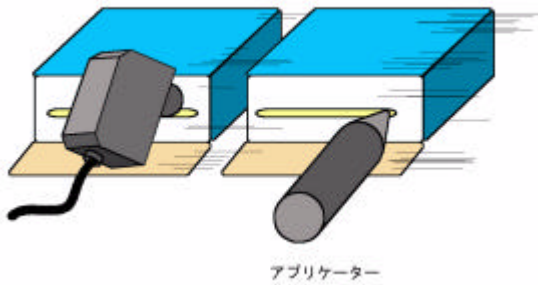


図10 フルカラーセンサにおけるホットメルト
検出のアプリケーション例

トメルトを塗布するアブリケーター近傍にセンサを設置しなければならない。このため、センサは周囲温度の影響を受けやすくハロゲン電球を使用したフルカラーセンサでは対応できなかった。

FA 分野においてはセンサの組み込み場所に限定を受けることが多く、小形化への要求度も高い。本センサでは電球方式に比べ温度上昇や使用温度範囲の拡大を可能にしたが、更に小形化に対する課題点も同時に解決する事ができた。

6. おわりに

本稿では、光源に3原色LEDを採用したフルカラーセンサの光合成技術と信号処理を用いた制御技術について報告した。このセンサは、LEDの長所を生かし小形化や、耐環境性の向上などハロゲン電球を使用したフルカラーセンサにない使いやすさを実現し、有用なアプリケーションが増え、多くの生産現場で使用できるようになった。

フルカラーセンサの今後の展開としては、色合成の手法や新信号処理技術など今以上の色判別能力の向上を目指し開発していく所存である。

謝辞

LEDを使用したフルカラーセンサの開発を進めるにあたり、ご協力いただきました関係者の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- [1] 日本色彩学会：新編 色彩科学ハンドブック，東京大学出版会，1998年，p183
- [2] 応用物理学会日本光学会：色の性質と技術，朝倉書店，1986年，p85
- [3] 平井敏夫：色をはかる，日本規格協会，1990年，p71
- [4] 西原 一寛，徳丸 英樹：A1・ファジィ活用技術/F A機器開発現況 フルカラーマークセンサ，自動化技術，1991.6，p89～92
- [5] 西原 一寛，徳丸 英樹：色彩計測 フルカラーマークセンサ，センサ技術，1991.4，p67～71
- [6] 徳丸 英樹：FAのための最新センサ活用ガイド フルカラーマークセンサ，オートメーション，1992.2，p31～36
- [7] 野村 光俊：3色(赤 緑 青)LEDを搭載したカラーセンサ，ファクトリーオートメーション，1996.12，日本工業出版，p33～37
- [8] 野村 光俊，道古 隆明，稲田 宏治，稲岡 啓介，田伏 栄徳，鷹尾 健：3原色LEDを用いたフルカラーセンサの開発，IDEC REVIEW，1997年，p63
- [9] 下村 剛弘，野村 光俊：センサ活用事例，機械設計，1998.9，日刊工業新聞，p54
- [10] 中村 修二：青色発光ダイオード，ダブルヘテロ構造で1cd実現，日経エレクトロニクス，1994.2.28，日経BP社，p93～102
- [11] 中村 修二：実現した青色の高輝度発光ダイオード，日経サイエンス，1994.10，p44
- [12] 中村 修二：GaN系発光素子の現状と将来，応用物理第65巻第7号，1996年，p676～686
- [13] 宮崎 和人：LEDの開発動向とその応用，照明学会誌，第81巻第7号，1997年，p558～562
- [14] 赤崎 勇：青色発光デバイスの魅力，工業調査会，1997年，p107～147
- [15] 日本色研事業株式会社ホームページ
<http://www.sikiken.co.jp/index.htm>
- [16] 谷田 好通：カラー表現による可視化技術，フジテクノシステム，1996年，p127～131
- [17] 三上 章允：色知覚と色彩メディア処理[1] 色と形の認識の脳内機構，電子情報通信学会誌，1998.8，p851～859
- [18] 秋田 宗平：色知覚と色彩メディア処理[2] 色彩の知覚，電子情報通信学会誌，1998.9，p954～955
- [19] JIS Z 8105：色に関する用語，1982年
- [20] 馬野 勝三，田辺 伸一，松本 吉弘：高輝度面照光LED表示灯の開発，IDEC REVIEW，1996年，p34～41
- [21] 間宮 勝，錦 朋範，馬野 勝三，田辺 伸一，高木 俊和，藤田 俊弘：ホログラムと面照光LEDを用いた高視認性表示技術の開発，第12回ヒューマン・インターフェース・シンポジウム論文集，1996年，p493～500
- [22] 日置 隆一：光用語辞典，オーム社，1981年，p41
- [23] 日本接着学会：接着用語辞典，日刊工業新聞社，1991年，p221