



3原色LEDを用いた SA1J - F 形ファイバ形フルカラー - センサの開発

Development of Fiber Type SA1J - F
Full Color Sensor

野村 光 俊^{*1)} 柴 田 克 也^{*2)}

Mitsutoshi Nomura

Katsuya Shibata

要 旨

物体の色をセンシングするカラーセンサは、その光源によって検出できる特長が異なる。白熱ランプを使用したカラーセンサは、可視光領域全般のスペクトラムにわたって光を発光するため、高い色分解能を実現している。しかし、白熱ランプは寿命が短い、消費電力が大きい、発熱が多い、などの欠点があった。

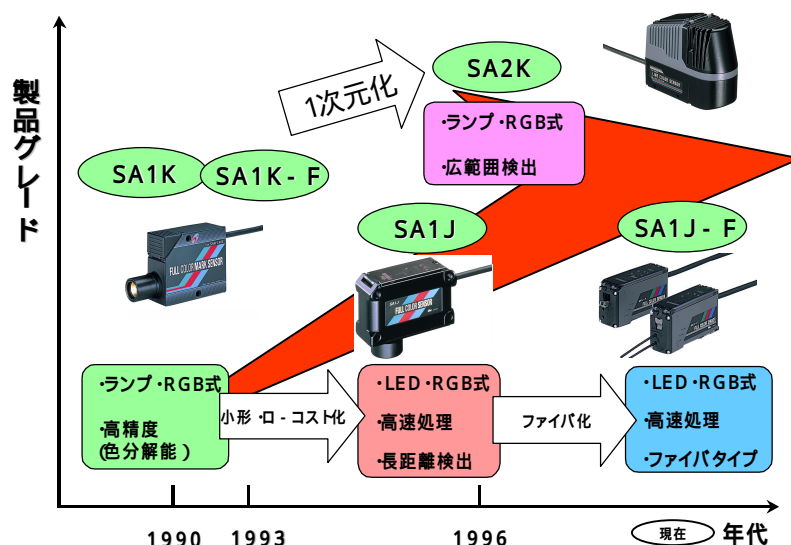
SA1J-F 形ファイバ形フルカラーセンサは光源に赤、緑、青の3原色LED (Light Emitting Diode) を採用している。LEDは長寿命、低消費電力、発熱が少ないなど白熱ランプと比較して優れた特長を有しており、本フルカラーセンサは光電スイッチ感覚で使用できる。

本稿で紹介するこのファイバ形フルカラーセンサは、顧客ニーズに対応することを目的としたフルカラーセンサであり、新しい市場を開拓していくことを期待する次世代の高性能光電スイッチである。

Abstract

Color sensors differ in their characteristics depending on the types of light source being utilized. Color sensors utilizing an incandescent lamp as a light source can offer high sensitivity to variations in color because the incandescent lamp emits a light spectrum over the visible range. On the other hand, there are disadvantages of utilizing incandescent lamps such as short sensing life, high electricity consumption, and high heat emission. The SA1J-F color sensor fiber type, which we introduce in this paper, overcomes these disadvantages by employing three different color LEDs of red, green, and blue. Because of superior characteristics of LEDs, this sensor is simple to use just like using LED photoelectric switches.

The SA1J-F fiber type full color sensor is the next generation color sensor, which has been developed to meet user needs and is expected to make a new sensor market.



フルカラー - センサの展開

Development of Full Color Sensors

1. はじめに

現代の生産設備における自動化は、FA（Factory Automation）センサが必需となっている。自動化に対応すべく当社においては、光電スイッチや近接スイッチが形成する汎用センサ群を中心として、レーザ変位計に代表される、より高度な検出を可能にしたインテリジェントセンサまで、多くのアプリケーションに対応できる製品を開発してきた。

しかし、近年センシングの対象となる検出体の多様化が進み、高度な検出が不可欠になってきた。また、生産設備の高機能化や高精度化により汎用センサでは対応できないアプリケーションが増え、インテリジェントセンサの重要性が高まり、より多岐にわたった製品開発が求められるようになった。

そこで、光を用いたセンサの原点に戻り、光の波長について考えてみた。一般的に光電スイッチには赤色 LED が使われるが、すべての検出体に対してこの波長の光が有効に作用するわけではない。そこで、光の3原色を用い、情報量を増やして安定検出をねらうセンサや水の分子が光を吸収する波長帯の光源を用い、透明水溶液の検出をねらうセンサ[1]など、光の波長を生かした製品開発を行ってきた。特に光の3原色を用いたフルカラーセンサは、色判別のみならず、検出体の有無検出や異種混入検出に多く使用されている。つまり、光電スイッチで

は検出できない多くのアプリケーションに対応できるセンサとして製品開発を進めてきた。

その結果、平成2年に発売した SA1K 形フルカラーマークセンサをはじめ、平成8年には3原色 LED を搭載した SA1J 形フルカラーセンサを発売し、図1に示すようにカラーセンサでは業界屈指の商品群を形成することができ、より快適なセンシング環境を提供できるようになった。

今回紹介する SA1J-F 形ファイバ形フルカラーセンサは、光電スイッチで使用されている汎用ファイバを用いることを特長とし、今まで以上に“使いやすさ”を追求したカラーセンサである。

2. 開発の背景

フルカラーセンサとは、検出体からの反射光を光の3原色である R（赤）、G（緑）、B（青）の各成分に分解し、その比率により色を判別するセンサである。

従来、カラーセンサといえば、印刷物のカラーマークやレジマークを検出する専用のセンサを指し、白色物体の反射光を最大値とし、黒色物体を最小値とする明度差の電気信号に変換して比較する光電スイッチである。光源には赤あるいは緑の LED や白熱ランプを使用していた[2]が、光量差で判別するために微妙な色差の検出は困難であり、検出体の明度差を大きくする必要があった。

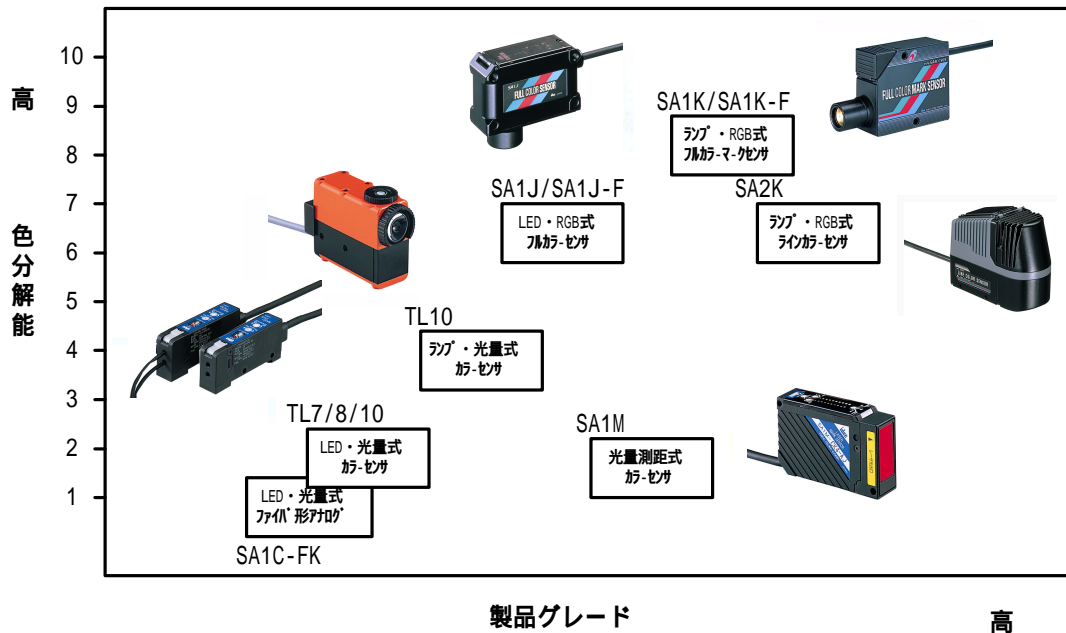


図1 カラーセンサ商品マップ

Fig. 1 Color Sensors Lineup

そこで、光源に白熱ランプを用い、反射光をR, G, Bに分解し、その比率により色を判別する方式のカラーセンサを開発した。これは、世界初のフルカラーセンサであり、カラーセンサ市場を活性化するのに大きく貢献した。

しかし、白熱ランプを使用しているため、寿命が短い、消費電力が大きい、筐体の温度が高くなるなどの難点があり使いやすさとは言い難かった。

今回開発したファイバ形フルカラーセンサは、発光素子に3原色のLEDを用い、図2に示すように今まで培った光電スイッチの技術とフルカラーセンサ技術をコアとしたクラシック技術と、高速演算アルゴリズムや光の合成技術およびオートパワーコントロールなどのコンテンポラリー技術との融合から独自に開発した製品である。

3．原理

検出原理についての詳細な説明を以下に述べる。

3．1 色の定量化

人間が光の波長の違いにより色を知覚できるのは、網膜上に、光の波長に対して異なった感度をもつ3種類の視細胞（錐体）が存在するためである[3]。つまり、視細胞により、光を分解して色を判別している。

この原理を応用して色判別を行っているのが、フルカラーセンサである。開発したファイバ形フルカラーセンサは、3原色LEDを用いているので、人間が色を判断する方式と同じ原理となり、このため多くの色を判別できるようになった。

3．2 光源

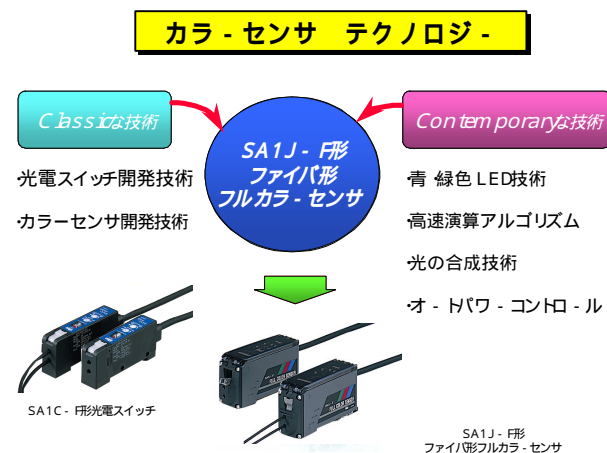


図2 カラーセンサテクノロジー

Fig.2 Color Sensor Technology

カラーセンサの光源がもつべき最も重要な特性は、可視域を中心とした光量が安定で継続性があることである[4]。可視域とは、眼が視覚的に感じる電磁波の波長領域[5]であり、図3に示した可視線に相当する。

カラーセンサの光源として最も多く使用されているものは白熱ランプとLEDである。以下に、それらの特長を説明する。

3．2．1 白熱ランプ

光源の波長特性はセンサの分光感度とともに、色分解能を向上させるために必要な情報である[6]。波長特性が最も優れた光源が白熱ランプであり、これを使用したフルカラーセンサは、可視光の波長領域全般を取り扱うため、高い色分解能を実現している。

しかし、フルカラーセンサの光源としては、優れた色判別能力を有するものの、前述のような難点があった。

3．2．2 LED

LEDは、白熱ランプに比べ長寿命、低消費電力、発熱が少ないなどの優れた特長をもち、その発光波長は一般的に数十nmの帯域幅を持っている。しかし、可視光領域全般にわたって光を発する白熱ランプの広い帯域幅に比べ、数十nmの帯域幅ではカラーセンサの光源として満足すべき値ではなかった。さらに従来、赤色の波長帯域をもつLEDでは十分な光量が得られていたが、緑や青色のLEDにおいて十分な光量が得られなかった。

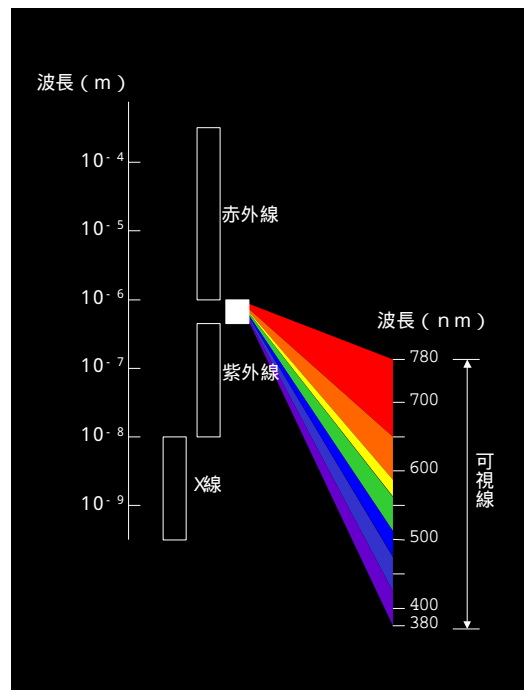


図3 光の波長による区分

Fig.3 Classification of Light
by Wavelength

しかし、近年 LED の開発が進み発光材料として、 族窒化物半導体 窒化ガリウム (GaN) ,窒化インジウム (InN) [7]などを使用した LED が実用化され、高出力の青色 LED、純緑色 LED が利用できるようになった。

3.3. 検出原理

検出の方式としては、透過形と反射形があるが、ここでは反射形ファイバを使った検出原理を図4を用いて説明する。

赤、緑、青 LED で発光した光は、ダイクロイックミラ^{注-1)}を反射あるいは透過して、一つの光源に合成される。合成された光はファイバを通り、検出体に照射され、検出体を反射した光は、再びファイバを通りホトダイオードに集光される。

集光された光は、ホトダイオードで電気信号に変換されアンプで増幅される。この増幅された信号は、A/D (アナログ/デジタル) 変換器でデジタル値に変換され、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データを用い色判別するための演算処理を行い、あらかじめ記憶させていた基準色のデータと比較して、その判別結果を出力する。

開発したファイバ形フルカラーセンサでは、3色 LED を順次点灯している。赤、緑、青、赤...と時系列に点灯しデータ処理を行うことにより、1つのホトダイオードで色の判別を可能とした。

また、従来のフルカラーセンサでは、3つのホトダイオードを使い、それぞれ3系統の信号処理を行っていたが、順次点灯方式の採用により、処理回路は1系統で可能となり、使用している電子部品を大幅に削減し小形化が実現できた。

^{注-1)} 薄膜による光の干渉を利用して、可視光の特定波長領域の光のみを反射し、残りの波長領域の光を透過する鏡。ガラス面に真空蒸着で高屈折率と低屈折率の所定厚さの薄膜を交互に重ねて付ける。[8]

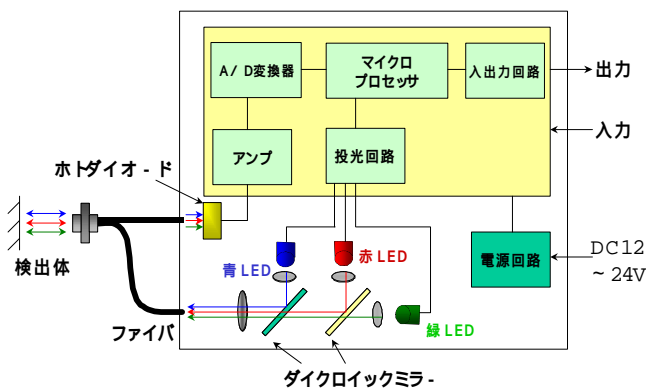


図4 ブロック図
Fig.4 Block Diagram

4. 特長

開発したファイバ形フルカラーセンサの主な特長を以下に説明する。

4.1 汎用ファイバ取り付け可能

ファイバ形フルカラーセンサの最大の特長は、汎用光電スイッチに使用されているファイバを共用できることが挙げられる。

従来のフルカラーセンサでは、十分な光量を得るため大口径のガラスファイバを使用していた。その結果、高い色分解能を実現できたが、プラスチック製の汎用ファイバと比較すると取り付けに対する自由度が低かった。

そこで、使いやすさを追求し、汎用ファイバをセンサ本体から着脱できるようにした。その結果、ファイバが引き回しやすくなり、メンテナンスが容易になった。また、従来のフルカラーセンサでは採用されていなかった透過形ファイバをはじめ、豊富な種類のファイバを用いたため、多くのアプリケーション対応が可能となった。

4.2 専用ファイバ

反射形のアプリケーションの場合、汎用ファイバを使用すると、前述のように使いやすくなる反面、設定距離が短い、スポット径が大き過ぎるなどの要求がでてくる。

そこで、表1に示すように設定距離が10mm、20mm、30mmの3種類の専用反射形ファイバを開発した。

特に、30mmタイプは、ファイバ形のフルカラーセンサではトップクラスの設定距離である。

4.3 高速化

従来のフルカラーセンサは、前述したように信号処理回路が3系統あり、しかもそれぞれ演算処理が必要であるため、応答速度が遅く1~2ms程度であった。今回16ビットのマイクロプロセッサを使用し、かつ高速演算アルゴリズムを採用することで、業界最高速の0.3ms(当社比約7倍)での検出を可能にした。その結果、印刷や包装のラインのリアルタイム処理が可能となり用途が一段と広がった。

形式	SA9F-DA11	SA9F-DA12	SA9F-DA13
設定距離(mm)	10	20	30
スポット径(mm)	2.5	5	8

表1 専用ファイバユニット
Table.1 Fiber Unit For Full Color Sensor

4.4 温度補正

LED は発光出力に温度特性を持っており、変化の度合いは3原色のLEDが個々に変化する。従って、周囲温度が変化した場合は、演算値が変化し誤検出する可能性がある。そこで温度補正をするため、LEDの発光出力を常時監視するモニタ用のフォトダイオードを内蔵した。この出力信号で広い温度範囲で一定の発光出力を得るよう補正回路を工夫したため、安定した色判別動作ができるようになった。

4.5 ワンタッチティーチング採用

近年の生産現場では、多品種少量生産のラインが多くなり、製造品目の変更時にセンサの感度調整を行う必要性が増えてきた。そこで、基準色の登録を簡単に行うため、操作パネル上のボタンを押すだけのワンタッチティーチングを採用し、調整にかかる時間を大幅に短縮した。

また、センサの取り付け位置の関係で、調整が容易に行えない場合があるので、外部ティーチング機能を持たせ離れた場所に設置されたスイッチやPLC(Programmable Logic Controller)で基準色の登録を行える機能を持たせた。

4.6 バリエーション

ファイバ形フルカラーセンサには、バリエーションとして登録色数の異なる2種類を用意している。登録色数を1色に限定し、操作を極力簡単にした1色登録タイプと、多機能に適した3色登録タイプである。

この3色登録タイプは、同一形状で色の異なる検出体の色振り分けなどのアプリケーション対応が可能である。また、測定している色が3つの登録色のうちのどれに近いかを自動的に判断するセレクトランモードがある。このモードは、色判別におけるしきい値を最適な値に自動設定するので、調整にかかる工数を削減することができる。

4.7 耐外乱光特性の強化

白熱ランプを使用したフルカラーセンサでは、信号光および外乱光共に直流の検出信号として処理されるため、外乱光の影響を受けやすく、周囲照度の上限值が1000Lx程度であった。開発したファイバ形フルカラーセンサでは、LEDの採用により光源をパルス点灯しているため、信号光との判別が容易になり周囲照度の上限值は3000Lx以下となり、外乱光の影響を受けにくくなった。

4.8 低消費電流化、小形化

白熱ランプは熱放射現象により発光している。熱放射現象とは物体がある温度にあるとき、その内部の原子、分子、イオンなどの熱振動により放射エネルギーが放出

される現象であり[9]、このため機器の内部温度は高くなり消費電力が大きくなる。

これに対し、光源にLEDを使用することで大幅に消費電力を低減する事ができ、発熱についても大幅に抑えられている。

また、白熱ランプを使用した場合、消費電流が800mA程度と大きく、ランプの発する熱を放熱するため必然的に筐体が大きくなった。これに対しLED光源にすることで消費電流が150mA以下と1/5以下となり、発熱が抑えられるので、筐体の小形化が実現した。

5. アプリケーション

本ファイバ形フルカラーセンサを使用したアプリケーションの一例を紹介する。

〔透明樹脂の異種混入検出〕

図5は透過形ファイバを使用した一例で、透明樹脂の異種混入の検出である。透明物体の検出で反射形ファイバを使用した場合、照射した光のほとんどが透過し判別するのに十分な反射光量が得られなかったため、検出が不安定であった。しかし、透過形ファイバで検出を行うと、色判別に十分な光量が得られ安定な検出ができるようになった。

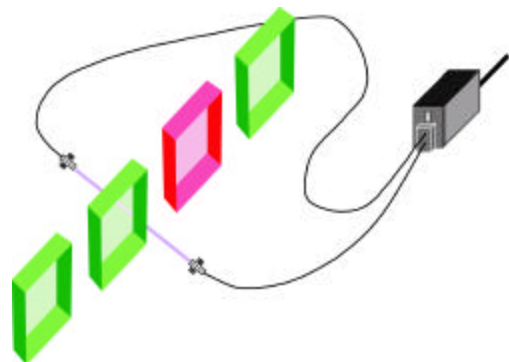


図5 透明樹脂の異種混入検出

Fig.5 Detection of Different Colors of Transparent Plastic Plate

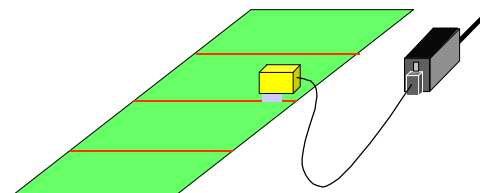


図6 シートの位置決め制御

Fig.6 Control of Positioning

〔フィルムシートの位置決め検出〕

図6は細いファイバコアを複数本一列に並べた反射形ファイバを使用した一例で、フィルムシートに印刷されたカラーマークを検出してシートを裁断する工程で使

用される。
一般の光電スイッチでは、光量のみで判定するため、シートの速さの変化や印刷の色むらの影響で検出位置がずれる可能性があるが、フルカラーセンサは色成分の違いで判定するため、色むらの影響を受けにくく高精度な位置決めが実現する。

6．安定して検出する手法

物体の色は、光源の種類や当てる角度により、違った

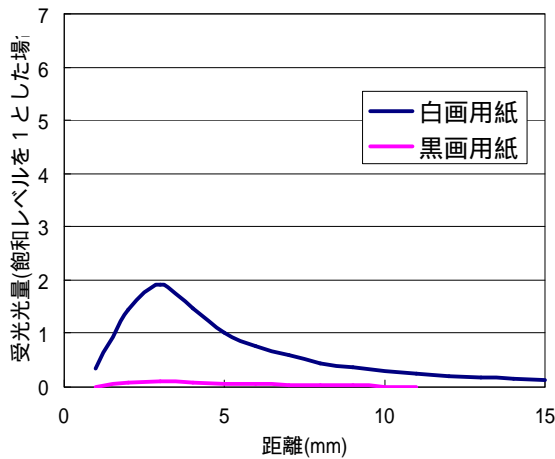


図7 受光光量 距離特性図 (SA9F-DS31)

Fig.7 Receiving Light Intensity Sensing Distance (SA9F-DS31)

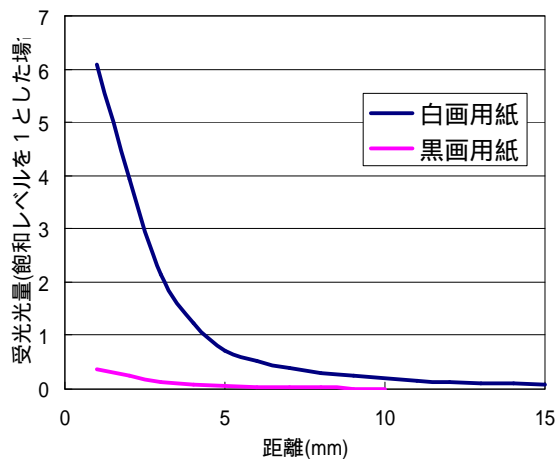


図8 受光光量 距離特性図 (SA9F-DD31)

Fig.8 Receiving Light Intensity Sensing Distance (SA9F-DD31)

色に見えることがある。この現象は、カラーセンサでも同様に生ずるものであり、設定距離や取り付け角度の違いにより、検出が不安定になることがある。以下、安定した検出方法について述べる。

6．1 設定距離

検出体に白画用紙および黒画用紙を使用したときの、受光光量 距離特性の関係を図7，8に示す。図7は投受光に1本ずつのコアを使用したファイバの特性である(図9(a)参照)。これはファイバ形光電スイッチで最もよく使用されるものであり、検出体をファイバヘッドに近づけるにつれて受光光量が増加し、3mmで最大値を示し3mmより近づけると受光光量が減少している。このため、黒っぽい色をした検出体など受光光量が少ない場合は、最も条件の良い設定距離で使用する必要があり、3～4mmが最適な状態となる。しかし、黒っぽいスポンジや、金属などの鏡面体を大きく傾けたときは、受光光量が大幅に減少するため3～4mmに設定しても十分に確保できず安定検出できない場合があり注意する必要がある。

次に中心に投光用1本、その周りに受光用として細いコアを複数本配置した同軸ファイバ(図9(b)参照)を使用したときの特性を図8に示す。検出体を検出ヘッドに近づけると受光光量が増加し、近づければ近づくほど受光光量が多くなっている。このことは、標準ファイバで受光光量の少ない検出体の場合でも、同軸ファイバを使うと設定距離を近づけたときに十分な受光光量が確保でき、安定検出できる可能性があることを示している。

反射形の汎用ファイバを使用する場合は、検出体の色や材質に注意し、受光光量が少ないときは同軸ファイバを検出体に近づけて使用すると良好な結果が得られる。

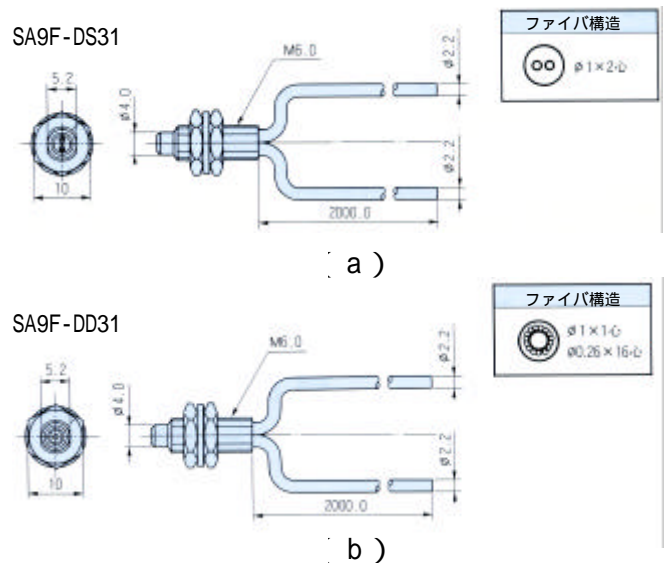


図9 ファイバユニットの外形図

Fig.9 Dimensions of Fiber Unit

6.2 取り付け角度

反射形ファイバユニットを取り付ける場合、図10(a)のように、約15°傾けて取り付けると良好な結果が得られる。しかし、検出体の表面が拡散面の（光沢のない面）場合は、照射された光が検出体で拡散され、直接反射光の影響を受けないため必ずしも傾ける必要はない。また、検出体のエッジ部分における乱反射による誤動作を防ぐためには(b)のように検出体の進行方向に対して、直角方向に検出ヘッドを傾ける。

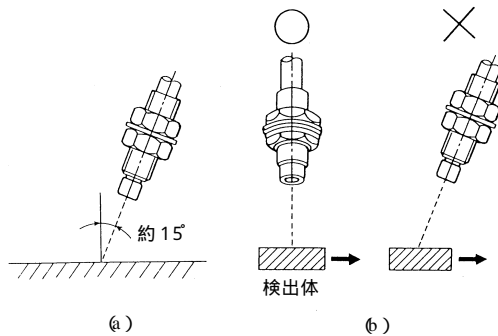


図10 ファイバユニットの取り付け方
Fig.10 Installation of Fiber Unit

7. おわりに

以上述べてきたように、開発したファイバ形フルカラーセンサは、当社のカラーセンサ群の重要な一角を占める製品であり、より使いやすく光電スイッチに近づくことを目的としたフルカラーセンサである。しかも、その判別能力の高さから、顧客ニーズに対応した次世代光電スイッチとして、また、フルカラーセンサのコンセプトを礎とする製品としてソリューションという形で提供できる製品であると考えます。

今後、フルカラーセンサが生産設備で大いに活躍することを期待して、更により使いやすさを追求した製品を開発していく予定である。

謝辞

最後に開発するに当たり、数々のご支援ご指導を頂いた関係者各位に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] 田門 立身 他：半導体レザを用いた SA1W 形水検出センサの開発，IDEC REVIEW，1997 年，P71～P79
- [2] 制御機器の正しい使い方 検出用スイッチ，日本電気制御機器工業会，1989 年，P140～P143
- [3] 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
- [4] 田幸敏治，辻内順平，南茂夫：光学的測定ハンドブック，朝倉書店，1994 年，P47
- [5] 日置隆一：光用語辞典，オーム社，1981 年，P41
- [6] [4]に同じ，P48
- [7] 宮崎和人：照明学会誌 第 81 巻 第 7 号，平成 9 年，P558～P562
- [8] [5]に同じ，P143
- [9] 電気学会：照明工学（改訂版），オーム社，1996 年 P.4

執筆者

- * 1) 商品開発部 H5000 所属
- * 2) 商品開発部 H8000 所属

