

SA1L形測距式光電スイッチの開発

飯塚 一行^{*1)} 庄司 克博^{*2)} 道古 隆明^{*3)} 鷹尾 健^{*4)}

1. はじめに

「21世紀に新たに重要となる工学は何か?という議論が1985年頃始まりました。その中で生物・環境・光というキーワードを持つ工学が重要というコンセンサスが形成され、・・・。」¹⁾ これは、ある大学の工学部における「光応用工学科の設置について」という趣意書の一節であるが、現在の時代の要求をうまく言い得て妙である。

特に環境ということばは、日常よく耳にするが、当社においても、環境に関連した機器に早くから取り組み、最近では汚水浄化装置として「GALF」(気泡水製造装置)を発売し大きな反響を呼んでいる。

さて、我々の所属する部署においては、第3番目のキーワードである光について、主にFA用の光応用製品の開発を行っている。本稿では、今年7月に開発を完了し発売したSA1L形測距式光電スイッチ(図1)について、開発のねらい製品の構成などを応用例を含めて説明する。

FA用センサとしての光応用センサ、いわゆる光電セ

ンサは、次の4つのカテゴリに分類される。

- a. 光の強度を検出する光量式
- b. 光のスペクトルに着目し、R・G・B(赤・緑・青)の3原色に分けて受光したそれぞれのスペクトルにおける光量変化を検出することにより色判別を行うカラーセンサなどの光スペクトル式
- c. 光の位置情報つまり受光パターンに着目した1次元の位置検出素子や2分割受光素子からなる三角測距原理に基づく測距センサや、1次元のラインセンサ、さらには2次元のビデオセンサなどを含む、光パターン式
- d. 光の速度を利用して距離情報を得る光速度式

SA1L形測距式光電スイッチは、カテゴリc.に属し、その中でも基本的な三角測距方式による2次元位置情報を得るセンサである。

2. 開発のねらい

一般に、光量式光電スイッチをいわゆる汎用光電スイッチと呼んでいる。今回、光量情報に位置情報を加えた信号を扱う測距式光電スイッチの性能を向上させ、できるだけ価格を抑えることで、「汎用光電スイッチの分野で、さらに安定した検出アプリケーションを提供する。」という目標を立て開発に着手した。

当社のSA1D形アナログ距離センサや他社メーカーより商品化されている測距式光電スイッチにおける測距方式には、下記の3つの測距方式(図2)がある。

- a. 1次元の位置検出素子(PSD)と投光素子を基線上に配置した基本タイプ
- b. 投光素子の上下の基線上に2つのPSDを配置した3眼タイプ
- c. 2分割受光素子と投光素子を基線上に配置して受光レンズを移動させるレンズ移動タイプ

それぞれに長所と短所を持つ。b.の3眼タイプは、レンズの開口を3カ所開けなければならないが、構造上基線長が短くなり精度面では不利となるが、検出体の接近方向に影響を受けにくい長所を持つ。このレンズ移動タイプは、受光スポットが、常に2分割受光素子の分割の中央

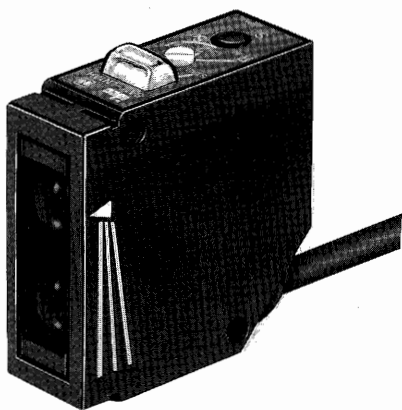


図1 SA1L形測距式光電スイッチ

*1) センサプロジェクト
*2) センサプロジェクト
*3) センサプロジェクト
*4) センサプロジェクト

三角測距方式の原理図

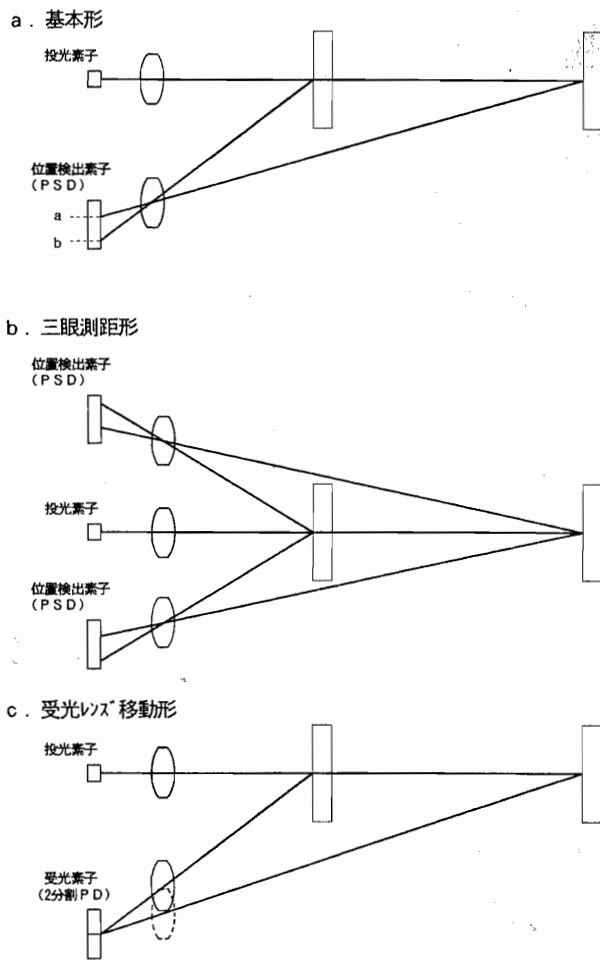


図2 3つの測距方式

に当たるように、受光レンズを移動するため、それぞれの動作距離において最適な受光レベルが得られ、低応差を実現できる。反面、レンズを動かすための複雑な機構系が必要となる。

SA1L形測距式光電スイッチの測距方式は、a.の基本タイプに準拠するが受光素子として多分割受光素子を用いている。我々は、この多分割受光素子をキーデバイスとしてワンチップCPUによる使いやすさを追求した従来にない新しい測距式光電スイッチを開発した。

開発に当たって念頭に置いた主な項目について、以下に概説する。

2.1 多分割受光素子による横方向接近の検出特性の向上

従来、測距式光電センサは、検出距離に対応した受光素子上の1次元の情報しか扱わなかったが、SA1L形測距式光電スイッチでは、2次元の情報が得られるようにフォトダイオードを配置している(図3)。

測距式光電スイッチの特長として、反射率の異なる検

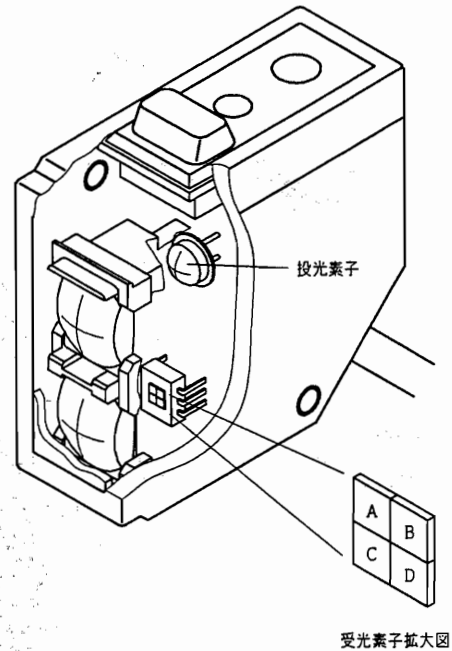


図3 光学配置

出体を光軸方向の移動に対して同一距離で検出できることがあげられるが、実際の検出においては、検出体は光電スイッチに対して、横方向から接近する場合が多い。このときの動作点は、従来の測距式光電スイッチでは、例えば白と黒の画用紙を接近させた場合、動作点は白では離れた位置、黒では接近した位置となり動作点が同一にならない。

SA1L形測距式光電スイッチでは、多分割受光素子を測距のために上下方向に配置するだけでなく、左右方向にも配置している。左右の受光量を比較して、ほぼ等しい値を得たとき出力を許可する方式を採用することにより、白と黒の検出体の横方向接近に対して動作点の差がほとんどなくなった。この方式をチルトモードと呼んでいる。

2.2 ワンチップCPUによる簡単操作のティーチング方式

信号処理のコントローラとして、ワンチップCPUを用い、最適な処理アルゴリズムを実現し、動作距離をボタンによりワンタッチでティーチングできるようにした。ティーチング方式の光電センサには、当社のSA1K形フルカラーマークセンサ、他社のファイバ形光電スイッチなどがあるが、測距式光電スイッチでは初めて採用したことになる。

また、外部入力線を設けることで

- 1) 外部からのリモートティーチング
- 2) 外部からの設定値の切り替え

ができ、製造ライン上を異なったワークが流れるFMS

表1 製品仕様書

形式	外部設定入力タイプ	外部チャンネル切替入力タイプ	ウィンドウコンパレータ出力タイプ
項目	SA1L-LN1/-LN1H SA1L-LN2/-LN2H SA1L-LP1/-LP1H SA1L-LP2/-LP2H	SA1L-LN1A/-LN1AH SA1L-LN2A/-LN2AH SA1L-LP1A/-LP1AH SA1L-LP2A/-LP2AH	SA1L-LN4/-LN4H SA1L-LP4/-LP4H
(1)電源電圧	DC12 ~ 24V (使用電圧範囲 DC10 ~ 30V)		
(2)消費電流	40mA 以下		
(3)距離設定範囲	5~20cm / 5~10cm (標準検出物体 50mmx50mm白色画用紙にて)		
(4)応差	10%以下		
(5)投光スポット径	約φ25mm (距離20cmにて) / 約φ6mm (距離10cmにて)		
(6)投光素子	赤外LED / 赤色LED		
(7)受光素子	多分割フォトダイオード		
(8)応答時間	3.5ms以下		
(9)制御出力	NPN, またはPNPトランジスタタイプ DC30V/100mA/1.2Vmax 短絡保護付き		
(10)補助出力	なし	制御出力に同じ	
(11)出力動作モード	ライトオン, またはダークオン	制御出力 ウィンドウ内オン 補助出力 NEAR側オン	
(12)モード切替スイッチ	RUNT 動作(チルトモード) SET タイミング RUNN 動作(ノーマルモード)	RUN 動作(チルト/ノーマルモード) CH1 SET CH1 タイミング CH2 SET CH2 タイミング	RUN 動作(チルト/ノーマルモード) NEAR SET NEARタイミング FAR SET FAR タイミング
(13)距離設定	設定スイッチオンでタイミング (SETモードのみ有効)		
(14)使用周囲温度	-20~+55°C (但し氷結しないこと)		
(15)使用周囲照度	太陽光10,000Lx以下 白熱ランプ3,000Lx以下 (受光面照度にて)		
(16)保護構造	IP67		
(17)材質	ケース:PBT	レンズカバー:ポリアリレート	

ラインに対応したセンサとしての用途も広がる。

この他にも、多分割受光素子で得られた信号をA/D変換器でデジタル化しCPUで演算処理することによって、ウィンドウコンパレータ出力や前述のチルトモードなどの豊富な機能を実現することができた。

2.3 投光スポットの可視化/赤外光との補完

当初、投光スポットの可視化および検出距離の長距離化を目標として、赤色LEDを光源として採用した。しかし、赤色LEDは赤色という単色光で、また光出力が小さいため長距離での検出特性は赤外LEDに比べて悪くなる。

そこで、赤色と赤外LEDの特長を引き出して使うようにした。

赤色タイプは、スポットを小さくし短距離専用として、小物の検出を可能とし、視認性の向上も図った。

赤外タイプは、長距離検出が可能であり、また光沢面などの赤色タイプでは検知しづらい物体の検出特性の向上を図ることができた。

2.4 新しい一体成形の手法による耐環境性の向上

センサとしてより完全な耐水性能等、耐環境性の向上を実現するため、生産性の高い工法として新しい一体成形の手法を開発した。

表2 製品の機種分類

基本機能	投光素子	出力	動作形態
1)外部設定入力タイプ	赤外LED	NPN	ライトオン
	〃	〃	ダークオン
	〃	PNP	ライトオン
	〃	〃	ダークオン
	赤色LED	NPN	ライトオン
	〃	〃	ダークオン
2)外部チャンネル切替入力タイプ	赤外LED	NPN	ライトオン
	〃	〃	ダークオン
	〃	PNP	ライトオン
	〃	〃	ダークオン
	赤色LED	NPN	ライトオン
	〃	〃	ダークオン
3)ウィンドウコンパレータ出力タイプ	赤外LED	NPN	ウィンドウ内オン
	〃	PNP	〃
	赤色LED	NPN	〃
〃	PNP	〃	

3. 製品仕様

表1に製品仕様の概略を示す。機能面で3種類に分かれ、さらに投光素子が赤色または赤外LED、出力方式でNPN形またはPNP形があり、計12機種となる。動作形態のライトオンまたはダークオンまで入れると全20機種となる。機種の分類を表2に示す。

4. 製品の構成

4.1 電子回路系の構成

図4に電子回路のブロック図を示す。回路系は、CPUを中心とした回路構成になっており、投光素子駆動回路、受光信号取り込み回路、入出力回路や表示回路などの制御を行っている。

CPUの選定のポイントを性能面と実装スペースの関係から、以下の項目に置いた。

- 1) 高速動作
- 2) ROM内蔵
- 3) A/D変換内蔵及び、その性能
- 4) 演算機能
- 5) SQFP

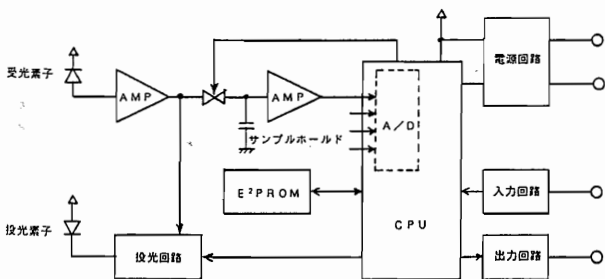


図4 回路ブロック図

回路動作を信号の流れに沿って説明する。投光素子が、測定周期毎にパルス発光するように、CPUから投光素子駆動回路へ信号が送出される。検出体表面からの拡散光を受光した多分割受光素子（各々のフォトダイオード）には光電流が流れ、初段の増幅回路で電流電圧変換され受光信号を得る。信号は、2段目の増幅回路を経てサンプルホールド回路でホールドされる。2段目増幅回路の出力部には、過入光時に投光電流を制御するための帰還回路が設けられている。また、サンプルホールド回路においては、ゲイン切り替えをCPU側から行えるようなハード構成になっている。

入力回路は、センサ本体に付属する操作スイッチ以外に外部入力線（2つのタイプ）につながる。外部設定入力線は、外部からリモートで動作距離の設定を可能にする。外部チャンネル切替入力線は、外部より設定チャンネルの切替えが行える。PLCの入出力にセンサの入出力をつなげば、入力線を100msの間Low（PNPタイプ付、High）レベル、またはOpen状態にすることでもう一つのチャンネルの出力状態に変更することができる。

プリント基板の実装に関しては、CPUをはじめ複数の受光信号を増幅するOPアンプなど、部品点数にして百点以上の部品を2枚構成の4層基板に高密度に実装している。また、操作スイッチや表示用LEDはフレキシ

ブル基板（FPC）に実装され、硬質基板に接続されるが、接続のためのスペースのロスを極力避ける構造とした。

4.2 ソフトウェアの構成

電流値に換算した受光信号の大きさは、 10^4 のレンジの幅を持つ。これは、検出体表面の色や光沢の度合および検出距離により受光光量が変動するためである。一方、A/D変換精度をフルに活用するために、受光光量に応じて感度を変化させて、広いレンジをカバーして最適なレンジで取り込めるように工夫してある。

このようにして得られた信号は、図5に示すように1周期毎（1測定周期）に取り込まれる。取り込まれたデータが、外乱光、ノイズなどによって変化していないかどうかチェックされ、正常であれば演算処理へと進む。NGと判断された時点で最初からデータを読むように処理が移行される。

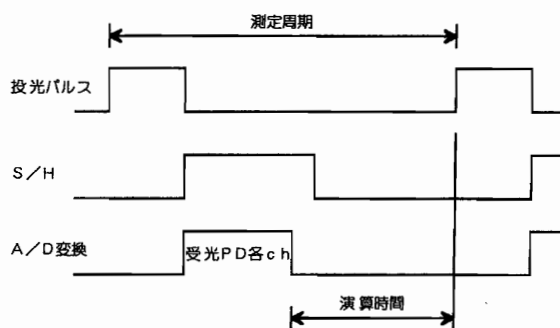


図5 信号取り込み

A/D変換された受光信号A, B, C, Dの演算処理について述べる。受光信号は、図3に示す受光素子A, B, C, Dに対応する。

測距式演算

$$Y = (A + B + \alpha) / (C + D + \beta)$$

α, β は、定数

横切式演算

$$Y = (B + D + \gamma) / (A + C + \delta)$$

γ, δ は、定数

を行う。

測距式の値Y、横切式の値Yと検出距離との関係をグラフ上にプロットすると、図6、図7のようになる。測距式の値Yは、検出距離に対して2次曲線を描く。このため、ヒステリシスの平準化を図るために、区間によって計算を変えている。横切式の値Yは、検出体に投光スポットが全部当たっていれば100の値を示すが、徐々に外れてくると、100よりも大、または小となる。

チルトモードでは、測定データ（Y, Y）とあらかじめティーチングされているデータ（Y₀, Y₀）との比較により出力の判定を行う。

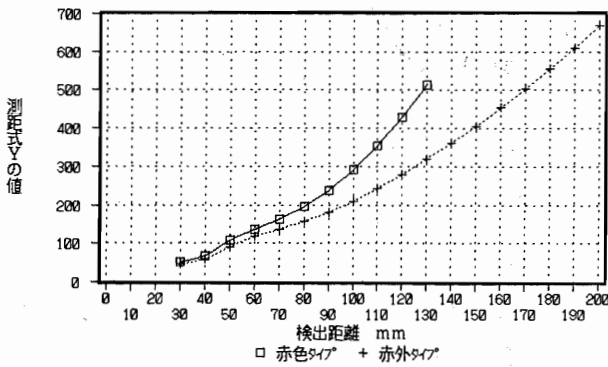


図6 測距式

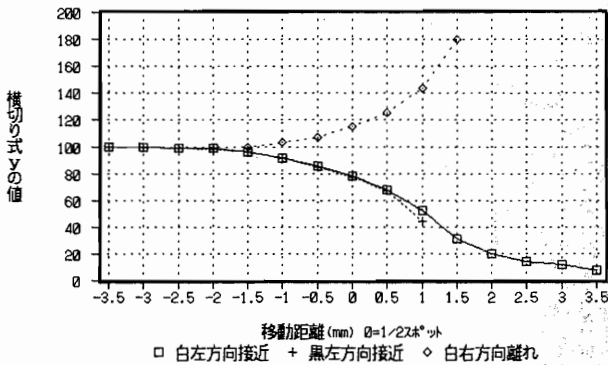


図7 横切り式 (赤色タイプ)

判定1 : $Y \leq Y_0$ and $|Y - Y_0| \leq \epsilon$
 ならば出力ON
 $Y > Y_0$ or $|Y - Y_0| > \epsilon$
 ならば出力OFF
 ϵ は定数

ノーマルモードでは、測定データYのみの判定を行う。

判定2 : $Y \leq Y_0$ ならば出力ON
 $Y > Y_0$ ならば出力OFF

このように、信号処理はソフト的に行っており、標準品で対応している機能からさらに広範な機能を簡単なソフトウェアの変更で実現することができる (図8)。

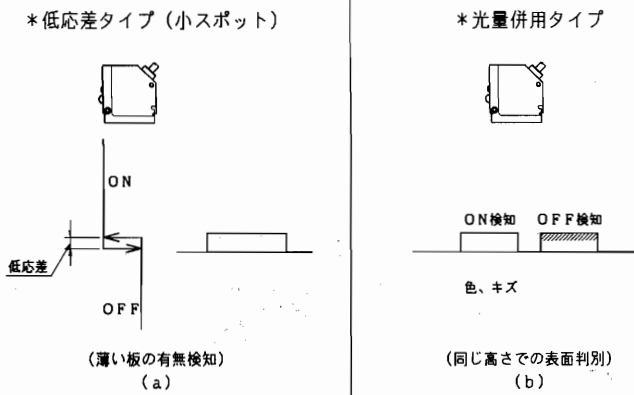


図8 多機能な機種への対応

4.3 機構系の構成

4.3.1 従来の方式と問題点

センサの製造方式として、今までふたつの方式が存在する。ひとつは、ケース、カバー間にパッキンを配置し接合部を超音波の振動による摩擦熱によって溶着させる超音波溶着方式であり、もうひとつは、ケースの一部分に開口を設け、エポキシなどの熱硬化性樹脂を注入して内部を埋める樹脂充填方式である。

しかし、前者には、

- ① パッキンに均一な圧力がかけられないためIP66程度の耐水性能しか得られない。
- ② 超音波振動による内部回路の半田付け部の破損。
- ③ 騒音等の作業環境の悪化。

といった問題があり、後者には、

- ① 充填、硬化に工数がかかる。
- ② 汚染等の作業環境の悪化。
- ③ 充填樹脂の調整、管理が煩雑。
- ④ 光電スイッチには空気間隔が必要なため、不適合である。
- ⑤ プリント基板と充填樹脂では線膨張係数に差があり、熱ストレスによって半田付け部へ悪影響を及ぼす。

といった問題があった。

そこでこれらの問題を解決するため、レンズ、プリント基板等をあらかじめ組み立てたインサートキットを金型内に挿入し、その周囲を熱可塑性樹脂で成形する手法を開発した。

4.3.2 今回採用した一体成形の方式

1) 成形材料の選定

材料の選定においては、インサートキットへの影響および耐環境性を確保する観点から次の条件が必須となる。

- ① 低圧・低速成形のため、流動性がよいこと。
- ② 線膨張係数がインサートキット材質のそれに近いこと。
- ③ 耐薬品性に強いこと。(酸、塩基、油脂等)

等の条件があり、今回はそれらをほぼ満たす高流動タイプの熱可塑性樹脂を採用した。

2) インサートキットの構造

図9に、SA1L形測距式光電スイッチの構造図を示す。一体成形の樹脂を充填する内側部分は成形圧力による変形を最小限におさえるため、梁の役目として内蔵部品を組み込んでいる。また、一体成形樹脂が経時変化によりインサートキットからはずれないように、本体ケース開口部全周に溝を設け、アンダーカット構造とした。

また、今回の一体成形で一番の特長であるのが、樹脂間接合とゴムパッキンを併用したハイブリッド工法である。一体成形金型の型締め圧力を利用して、ゴムパッキ

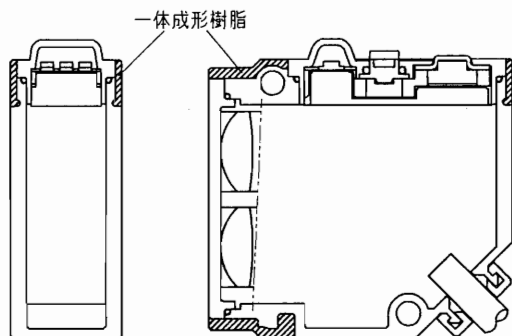


図9 構造図

ンを均一に押しつけた状態で射出し、成形を完成するという方法で、一体成形の完全な耐水性能を得るためのポイントである。

3) 金型構造

前述したように、今回の一体成形においては、型締め圧力を利用してゴムパッキンを圧縮している。

ゲートの方式は、一体成形樹脂部分の未充填を防ぐため、側面からの2点サイドゲートを採用し、また成形時にバラツキの多い計量を調整する樹脂だまりを最終充填部に設けた。これにより、未充填、充填はみ出しの不良発生を抑えることに成功した。

4) 成形条件

一体成形を良好に行うためには、様々な制御因子が考えられるが、ここでは以下の条件についてパラメータ設計法を用いて最適条件を算出した。

- ① 金型温度
- ② 樹脂温度
- ③ 射出圧力（1次、2次）
- ④ 射出速度（1次、2次）
- ⑤ 射出切り替え位置
- ⑥ 計量値

これらの因子の中で例えば樹脂温度について考えたとき、樹脂温度が低ければ金型内に挿入したインサートキットとの密着性が悪くなり、高ければ樹脂が分解したり、成形機のノズルから漏れ、計量値が変わってくる等、その温度の高低により一体成形の良否が左右される。

次に最適条件を決定するに当たり、評価の必要な項目を示す。

- ① 光電スイッチとしての評価。
- ② 未充填、充填はみ出しの有無。
- ③ インサートキットのクラックの有無。
- ④ 耐水性能。
- ⑤ 外観。

4.4 光学系の構成

SA1L形測距式光電センサの動作原理は、従来より一

般に広く利用されている、光学式三角測距方式を応用している。投光LEDから発せられた光は、投光レンズで収束され、検出体の表面に照射される。検出体表面で散乱された拡散反射光は、受光素子の前面の受光レンズにより集光される。

図10に三角測距方式の原理図を示す。検出体までの距離をLとし、投受光レンズ間の間隔をD、受光レンズの焦点距離をfとすると、幾何学的な関係より次式の関係が成り立つ。

$$D/L = X/f$$

$$X = D \times f / L$$

この式より、検出体が近づくにつれXは大きくなり、逆に遠ざかれば小さくなり、距離Lに逆比例した形となる。このスポットの移動を、非分割型の1次元位置検出素子（PSD）を用いて検出するのが一般的であった。

今回は、図11に示すように受光素子に多分割ホトダイオードを用いて、X-Y方向の2次元的な受光スポットの位置を検出している。光軸方向の距離の変化に対しての受光スポットの移動は、図11-軸方向のようになる。また、検出体の横方向接近に対しての受光スポットの移動は、図11-通過方向のようになる。

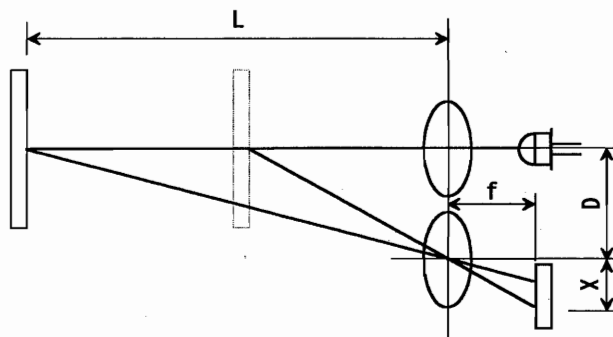


図10 三角測距原理図

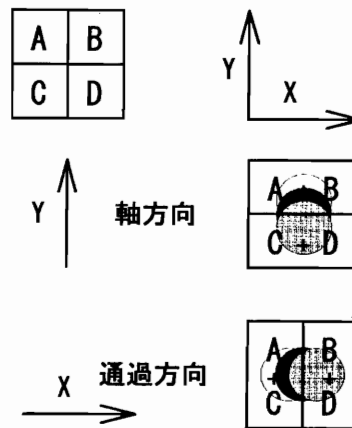


図11 受光スポットの移動

次に、検出領域特性の代表例を図12に示す。従来の軸方向のみの1次元での検出では、白/黒の色差（反射光量の差）により動作位置に誤差が発生していた。しかし、2次元的に判定しているチルトモードでは、センサの光軸中心ではほぼ動作し白/黒の色差に対して、誤差が小さく検出精度の向上が図られた。

図13に各種材質別の検出距離を検出体の傾き角度別に示す。測距方式のセンサでは、受光スポットの位置を求めて距離情報としているため、検出体の表面に光沢や艶がある場合は、正反射光により、測距情報に誤差を伴う。これは受光レンズにより集光された受光スポット内での強度分布が、拡散反射物体の均一な分布とは異なっているからである。よって、光沢を有する物体に対しては、センサ本体を傾けることで正反射光の入光を防ぎ、物体表面で散乱する拡散反射光の受光により誤差を減少させることができる。具体的には、図14のように投光の正反射光が入光しないように設定すればよい。

また、赤外/赤色タイプでは光源の波長の差により印刷処理が施された紙の化粧箱等で、誤差のレベルが異なる。赤外タイプは約5度傾ければ誤差は大幅に低下するが、赤色タイプでは倍の10度の傾きが必要となる。このことから、赤外タイプのほうが光沢や艶のある物体の検出に適していることがわかる。

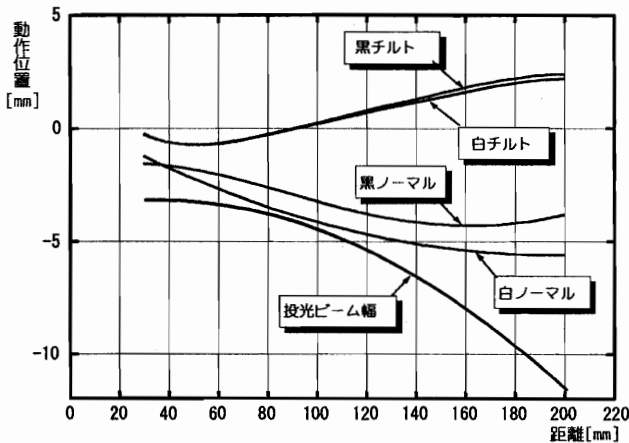


図12 検出領域特性

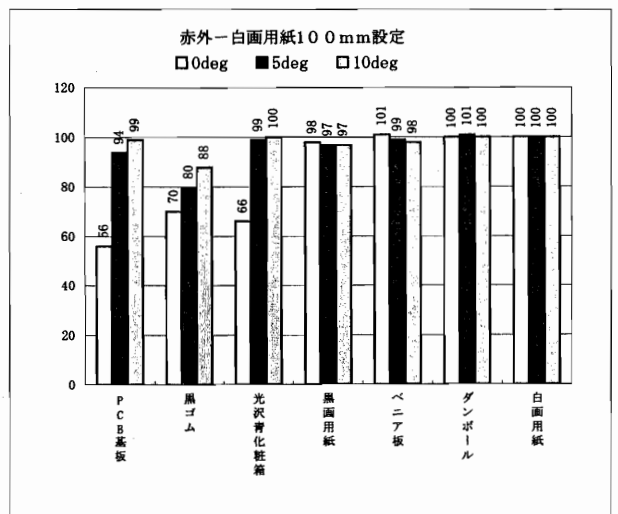
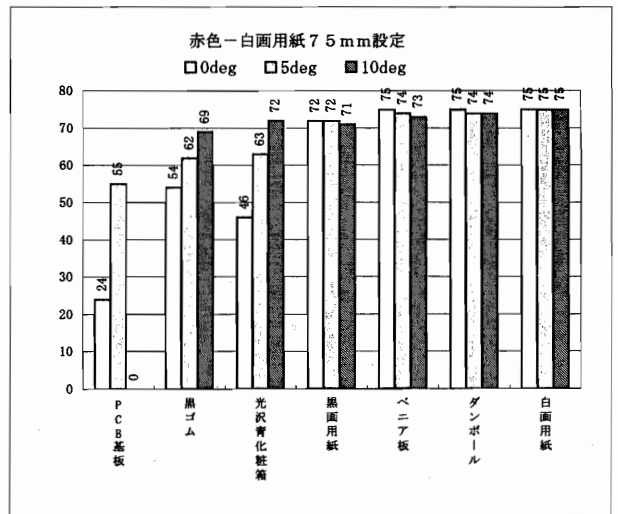


図13 各種材質別検出特性

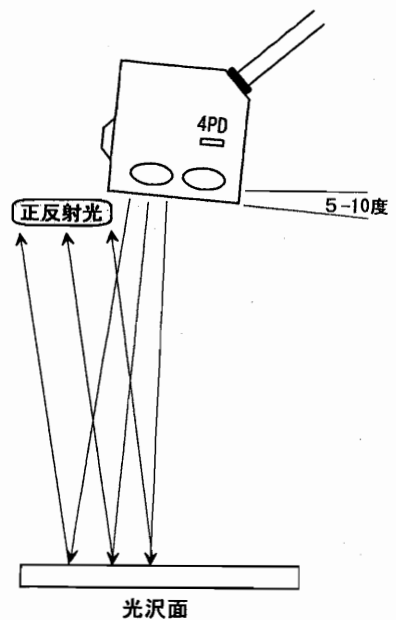


図14 光沢面特性

5. 応用例

5.1 布のエッジ検出 (繊維機械)

図15に示すような布の切断機械において、ガラススリット越しに布のエッジを高精度に検出し、一定の寸法で布の裁断を行う。動作モードは、チルトモードで布の色が変化しても定位置で切断できる。長、短の長さ別にセンサを2台切替えて使用する。

5.2 業務用卵ケースの位置ズレ検出

金網製の台からはみ出した卵ケースを検出する。卵ケースは、焼成する前で水を含んでおり汎用の光電スイッチでは位置決め検出は難しい。

図16に示すように、5台のセンサを取付けピッチ50mm

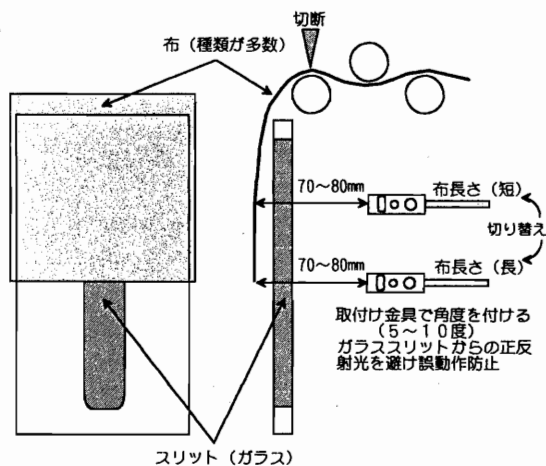


図15 応用例 布のエッジ検出

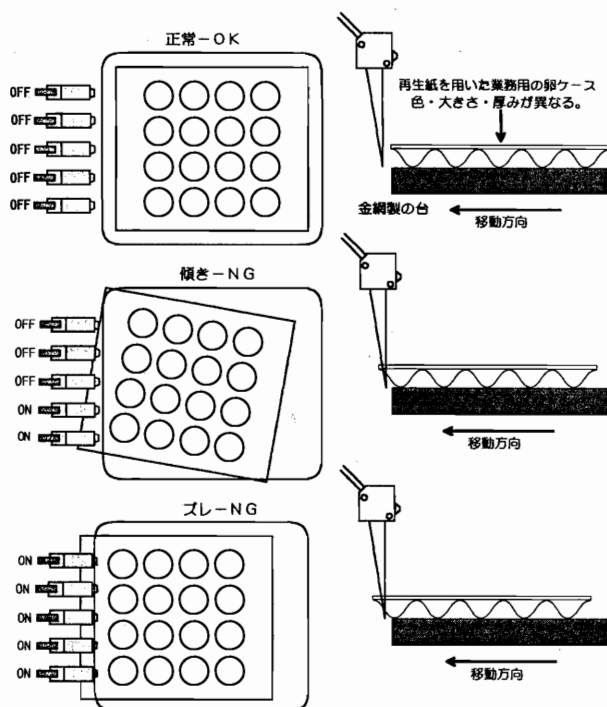


図16 応用例 卵ケースの位置ズレ検出

間隔 (注: 取扱い説明書の推奨値は100mm) の相互干渉を起こさない最小の実力値まで接近させて取り付け。5台のセンサを外部設定入力線として用い、一度に外部よりティーチングできるメリットもある。

6. 今後の展望

製品の性能について振り返ったとき、以下のような技術を今後開発して行けば、汎用光電センサと言われるのにふさわしい強力なセンサとなり得るのではないだろうか。

- 1) アナログ処理回路、A/D変換器、CPUの演算処理時間などの高速化を図り、光電スイッチとしての応答時間の短縮化を実現するために、多数の入力を高速処理するためのASICの開発や高速CPUの採用など。これらの技術を現行のSA1L形測距式光電スイッチと同一サイズの中に収納するためには、IC化技術と高密度な実装技術が不可欠となる。
- 2) 光学系では、現行の検出範囲(5~10, 20cm)において、さらに低応差や高い繰り返し精度など、検出特性の高精度化の実現や、検出範囲を短距離側へ、または1mや2mの長距離側へと拡大すること。

7. おわりに

開発を進める過程で検出特性に関する基本的な問題にぶつかったが、困難な問題を解決して行くなかで得た開発の手法をも含めたノウハウは、無駄にすることなく今後の製品開発の中に取り込んで行き、開発期間の短縮化も図りたい。

最後に、長期にわたり信頼性評価試験を実施頂いた品質保証センター、新しい一体成形技術の開発に共同でチャレンジして頂いた生産技術センターをはじめ、ご協力頂いた多くの方々に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 徳島大学工業会会報 (第40号)