

# SA1M形レーザマークセンサの開発

藤井 祥二<sup>\*1)</sup> 本村 幸一<sup>\*2)</sup>

## 1. はじめに

現在、FA用の反射形光電センサとしては、検出物体からの反射光量の違いによりその有無を検出する光量式光電センサや、検出物体までの距離の違いによりその有無を検出する測距式光電センサなどがある。

今回新たに、検出物体までの距離が大きく変化しても、センサの受光光量出力が一定となるように補正をかけるCOD(Constant Output against Displacement)方式を考案し、それを従来の光量式光電センサに適用することにより、これまででない全く新しいタイプの反射形光電センサを開発した。以下にその概要を紹介する。

## 2. 開発の背景

従来の反射形の光量式光電センサの場合、検出物体までの距離の変化がそのままセンサの受光光量の変化につながる為、反射率の違いを広い距離範囲にわたって安定して検出することが難しい。また、検出物体の背景に反射率の高いものが存在するような場合も、誤動作を起こすことがある。一方、測距式光電センサの場合は、検出物体の反射率の違いによらず所定の範囲内の検出物体を確実に検出できる。したがって、背景の影響を受けて誤動作するようなことはない。しかし逆に、これは検出物体の反射率の違いを検出することはできない。

そこで、測距式光電センサの要素を光量式光電センサに盛り込むことにより、検出物体までの距離が変化しても、その反射率の違いを確実に検出することができるセンサの開発を目指した。

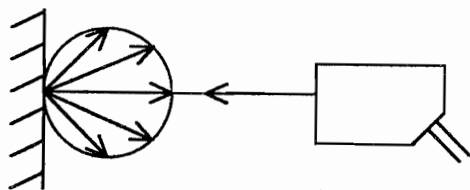


図1 完全拡散面での反射パターン

## 3. 動作原理

図1のように、センサの光源から発せられた光が完全拡散面で反射された場合、その単位面積あたりの反射光量は、反射面からの距離の2乗に反比例して減衰する。

つまり、図2のように反射位置からの距離が2倍になると、完全拡散反射された光の照射領域は4倍になり、単位面積あたりの光量は1/4倍になるということである。

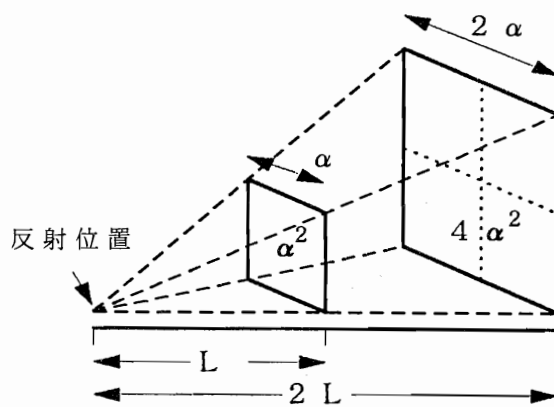


図2 距離と照射領域

したがって、従来の光量式光電センサの検出距離と受光光量出力との関係は、

$$P = K_0 \cdot \frac{1}{L^2} \dots\dots\dots (1)$$

P : センサの受光光量出力 (mA)

$K_0$  : 検出物体の反射率で決まる定数 (mA・mm<sup>2</sup>)

L : センサと検出物体(反射位置)との距離 (mm)

となり、これをグラフに表すと図3のようになる。

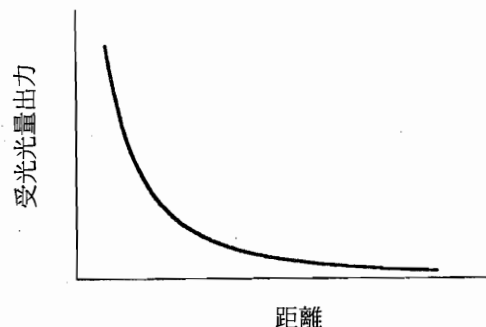


図3 受光光量出力-距離特性(従来品)

\*1) 商品開発部

\*2) 商品開発部

ここで、検出物体の反射率が違う場合（例えば、白色と黒色）を考えると、その関係は図4のようになる。

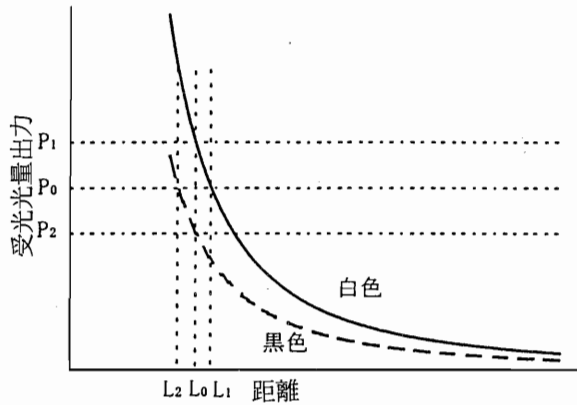


図4 白と黒の比較 (従来品)

ここで距離  $L_0$  における各検出物体の受光光量出力値を  $P_1$ 、 $P_2$  とすると、センサの出力のON、OFFを決めるしきい値を  $P_1$  と  $P_2$  の間の値、 $P_0$  に設定することにより、検出物体の白黒の判別が行える。しかし、図から明らかなように、センサと検出物体の距離が  $L_0$  から  $L_1$  に遠ざかると白色検出体における出力の値が変化し、しきい値  $P_0$  を下回って、判別不能となる。逆に  $L_0$  から  $L_2$  に近づく、黒色検出体における出力の値が  $P_0$  を上回り、やはり判別不能となる。

つまり、従来の光量式センサにおいては  $L_2$  から  $L_1$  の間のわずかな範囲においてしか白と黒の判別が行えなかった。しかも、検出物体の反射率の差が小さくなれば、さらにその判別可能な範囲は狭くなり、検出距離のわずかな変動や、振動などの影響により、誤動作を起こす可能性が高くなる。

そこで光学式三角測距法<sup>1)</sup>により検出物体までの距離  $L$  を求め、その2乗値を光量出力に乗算して光量補正を行うことにより、その受光光量出力と距離との関係は  $W = K_1 \cdot P \cdot L^2$

$$= K_0 \cdot K_1 \cdot \frac{1}{L^2} \cdot L^2 = K \text{ (const)} \dots\dots\dots (2)$$

$W$  : 受光光量出力 (mA)

$K_1$  : 補正定数 ( $1/\text{mm}^2$ )

となる。これが、COD方式である。

上式(2)の関係をグラフに表すと図5のようになる。この図から明らかなように、光量補正範囲内の任意の位置  $L_{10}$  における各検出物体の受光光量出力値を  $W_1$ 、 $W_2$  とし、しきい値をその間の値  $W_0$  に設定すると、補正範囲全域にわたって安定して白と黒の判別が可能となる。

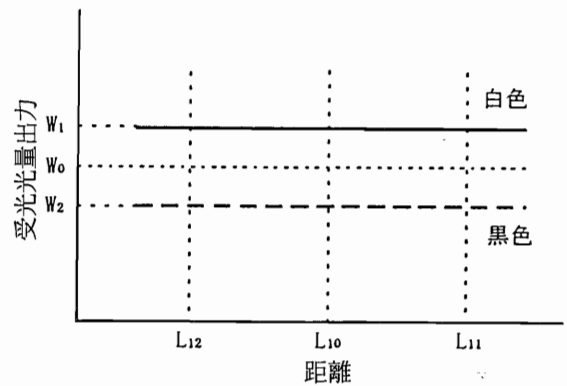


図5 白と黒の比較 (光量補正式)

#### 4. 回路構成

図6は本センサの回路構成を示すブロック図である。全体的にデジ・アナ混載回路で構成されている。

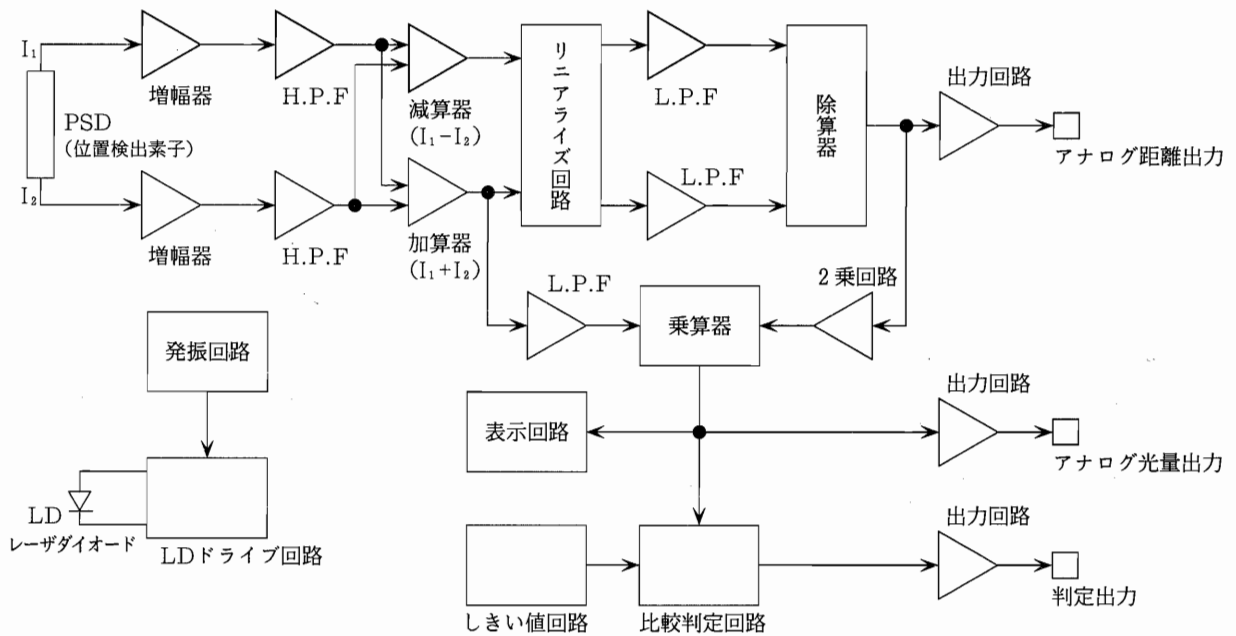


図6 回路ブロック図

発振回路の信号に基づきパルス点灯されたLD(レーザダイオード)の光は、検出物体表面で拡散反射される。

この拡散反射光はPSD(位置検出素子)で受光され、その両端の出力端子からセンサと検出物体までの距離に応じて変化する電流 $I_1$ 、 $I_2$ として出力される。 $I_1$ 、 $I_2$ は各々、増幅、フィルタリングされた後、加算器及び減算器に入力される。加算器の出力( $I_1 + I_2$ )は、一般的な光量式反射形光電センサの受光光量出力Pに相当する電流値であり、光量信号補正のための乗算器の一方の入力となる。このP( $\propto I_1 + I_2$ )と距離との関係は前出の図3の様に距離の2乗に反比例した曲線となる。

また、これらの加算器、減算器の出力はリアライズ回路により補正された後、距離信号算出のための除算器に入力される。

除算器の出力は、出力回路を介してアナログ距離信号として電流出力されるとともに、2乗回路を介して、前出の乗算器のもう一方の入力端子に送られる。乗算器では、2つの入力の乗算、ダイナミックレンジとの整合をとるためのレベル変換が行われ、距離に依存せず検出物体の反射率のみによってきまる一定の電圧が出力される。この乗算器の出力は出力回路を介して、アナログ光量信号として、電流出力されるとともに、その出力値のレベルを10個のLEDによりドット表示する表示回路と、任意に設定可能なしきい値と比較するための比較判定回路に送られ、出力回路を介してON-OFF信号が出力される。

5. 性能仕様と特長

SA1M形レーザマークセンサの性能仕様・外形寸法を表1に示す。このうち、主な機能について以下に述べる。

5.1 アナログ光量出力機能

検出物体からの反射光の受光光量を4~20mAのアナログ電流として出力する機能である。その応答速度は10-90%応答で1ms以下である。

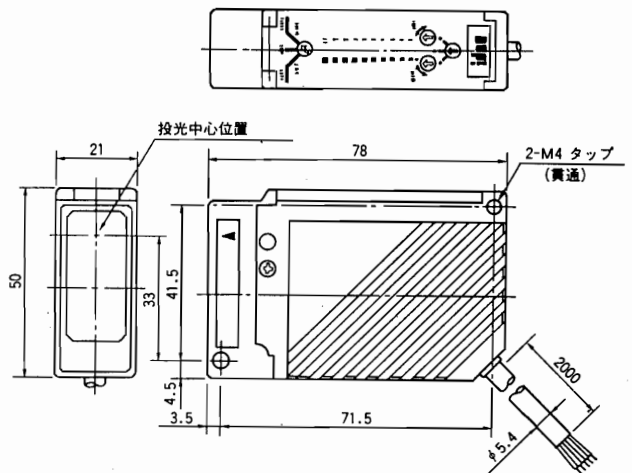
図7、8に従来の光量式光電センサとSA1Mのアナログ光量出力-距離特性のグラフを示す。検出物体としては、白色、乳白色、赤色、灰色、黒色の5種類の無光沢セラミック板を用いた。グラフから明らかなように、従来品では設定距離の増大とともにアナログ光量出力値が急激に減少する。したがって、次に述べる比較判定出力を用いて各色の判別を行う場合、判別可能範囲が非常に狭い領域に限られてしまい、検出距離のわずかな変動や、ラインの振動等により誤判別が発生する恐れがある。

表1 性能仕様

検出範囲	70~150mm
比較判定出力	出力方式 NPNトランジスタオープンコレクタ出力(SA1M-CK4-A□/B□) PNPトランジスタオープンコレクタ出力(SA1M-CL4-A□/B□) 短絡保護機能付 出力形態 ウィンドコンバータ出力(ウィンドウ内出力オン) 応答速度 1ms以下 応差 5%FS(0.8mA)以下 印加電圧 DC30V以下 負荷電流 100mA以下 電圧降下 1.0V以下(SA1M-CK4-A□/B□) 1.5V以下(SA1M-CL4-A□/B□)
アナログ光量出力 (比較判定出力に 対応)	アナログ電流出力 4~20mA、5V以下 基準出力電流 ※1 19.0±0.4mA 出力安定度 ※2 ±5%FS(±0.8mA)以下 (全検出範囲で基準出力電流に対して) 温度ドリフト ※3 ±5%FS(±0.8mA)以下 (全温度範囲で基準出力電流に対して) 応答速度 1ms以下(10-90%応答) 重量ノイズレベル ※2 P-P0.4mA以下(位置:70mm位置)
補助出力 (アナログ距離出力)	アナログ電流出力 4~20mA、5V以下 直線性誤差 ※2 ±1.5%FS(±1.2mA)(全検出範囲にて) 分解能 ※2 200µm(位置:70mm位置) 温度ドリフト ※3 5µA/°C以下(全温度範囲にて) 応答速度 1ms以下(10-90%応答)
感度設定機能	感度切換スイッチにて設定 L:Low(低感度:標準感度の約0.35倍) M:Middle(標準感度) H:High(高感度:標準感度の約3.5倍)
モード設定機能	モード切換スイッチにて設定 RUN:動作時、SET1:ADJ1設定時、SET2:ADJ2設定時
比較判定出力 設定機能	多回転ボリュームにて設定 ADJ1:ウィンドコンバータ出力の上限(または下限)しきい値を設定 ADJ2:ウィンドコンバータ出力の下限(または上限)しきい値を設定
表示機能	1)アナログ光量出力表示 赤色LED(10点レベルメータ、モード切換スイッチ:RUN) 2)比較判定出力設定モニタ 赤色LED(10点レベルメータ、モード切換スイッチ:SET1,SET2) 3)比較判定出力表示 赤色LED(出力オン時点灯) 4)LD点灯表示 緑色LED(LDオン時点灯)

- ※1 温度:25°C、測定物体:板厚0.6mmの白セラミック(正対)  
感度:Middle、位置:110mm
- ※2 温度:25°C、測定物体:板厚0.6mmの白セラミック(正対)  
感度:Middle
- ※3 測定物体:板厚0.6mmの白セラミック  
感度:Middle、位置:110mm

外形寸法



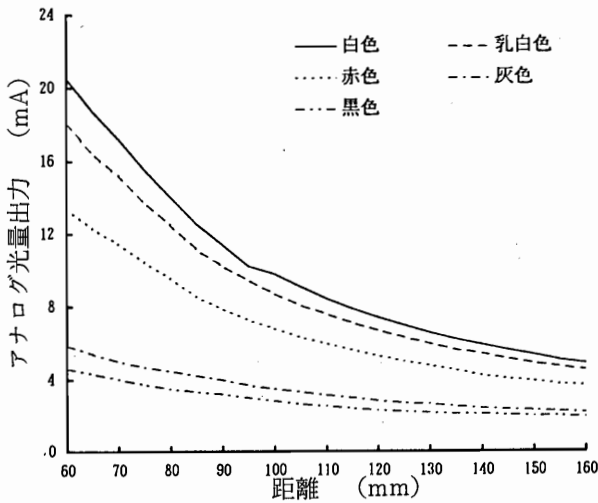


図7 従来品のアナログ光量出力-距離特性

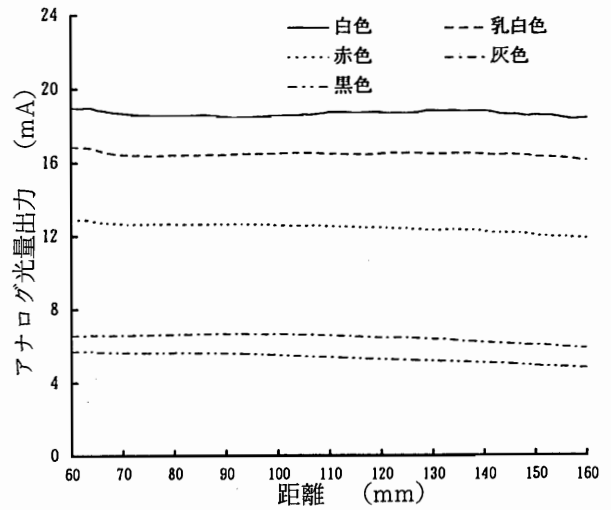


図8 SA1Mのアナログ光量出力-距離特性  
(感度: Middle)

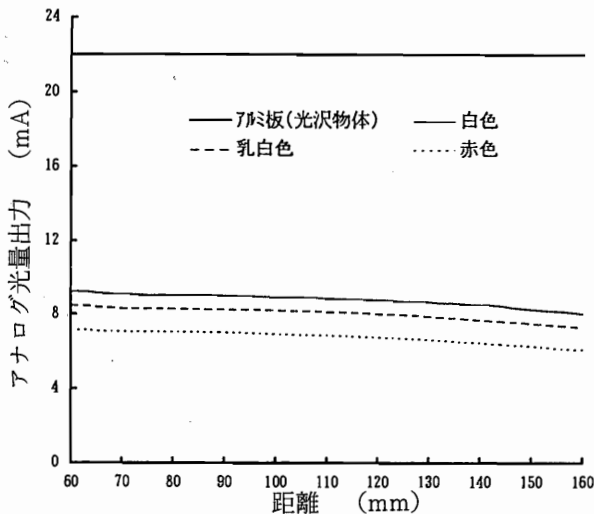


図9 SA1Mのアナログ光量出力-距離特性  
(感度: Low)

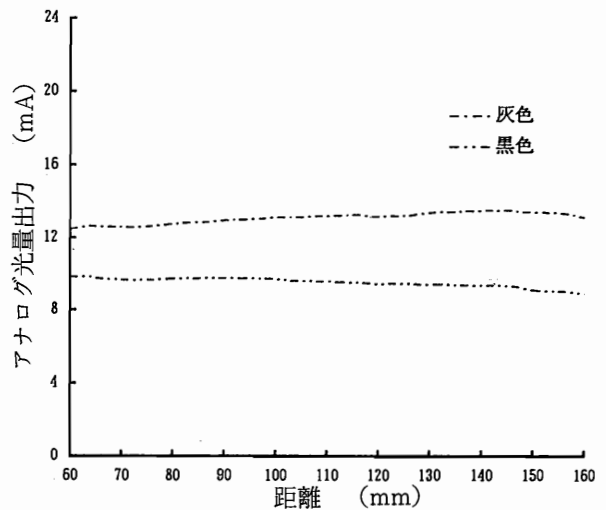


図10 SA1Mのアナログ光量出力-距離特性  
(感度: High)

これに対しSA1Mの場合には、その定格検出範囲の全域において、アナログ光量が各色に応じたほぼ一定の値を示していることがわかる。したがって、その全検出範囲において、安定して各色の判別を行うことができる。

次にアナログ光量出力と設定感度との関係について述べる。SA1Mは、感度切換スイッチによりそのアナログ光量出力のレベルをM:Middle(標準感度とする)、L:Low(標準感度の約0.35倍)、H:High(標準感度の約3.5倍)の3段階に切り換えることができる(以下、感度L、M、Hとする)。

図9、10にアルミ板(光沢物体)、白色、乳白色、赤色、灰色、黒色のセラミック板を検出物体とした場合の感度L、Hにおけるアナログ光量出力-距離特性を示す。

例えば、光沢のあるアルミ板上の白色のマークを検出する様な場合を考える。このように、感度Mでは共に出力が高くてその差が小さい、という時には、感度をLにすることで差が大きくなり、安定して検出できる。(アルミ板は、感度M、Lのどちらでも飽和している。)逆に、灰色と黒色を判別する様な場合には、感度Lにすることで差が大きくなり、安定して検出できる。

図11、12は、センサを検出物体に対して後述の図18(Ⅲ)の方向に傾斜させた場合のアナログ光量出力-距離特性のグラフである。検出物体の傾斜角が増大するにつれ、アナログ光量出力の値は低下する。実際のアプリケーションで、検出物体の角度が変化する場合には、それによる出力値の低下を見込んで設定を行う必要がある。

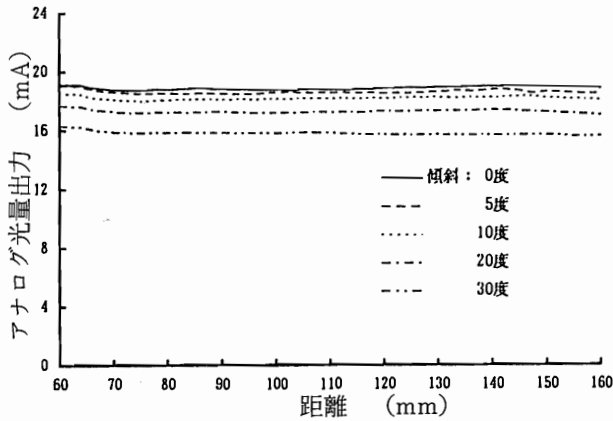


図11 アナログ光量出力の傾斜特性  
(検出物体：白色セラミック板)

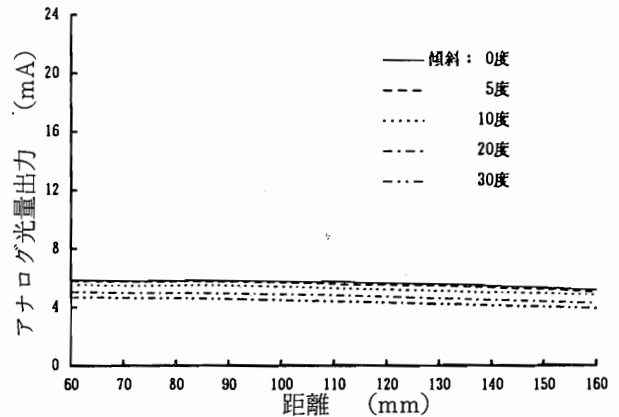


図12 アナログ光量出力の傾斜特性  
(検出物体：黒色セラミック板)

5.2 比較判定出力機能

SA1Mは、上記のアナログ光量出力に対応した比較判定出力機能を持つ。これは、NPNまたはPNPトランジスタオープンコレクタ出力でウィンドウコンパレータ方式(ウィンドウ内出力ON)になっており、その上限、下限のしきい値がそれぞれ多回転ボリューム(14回転)で設定可能となっている。また、その応答速度は1ms以下、応差(ヒステリシス)は5%FS(0.8mA)以下である。

5.3 補助出力機能(アナログ距離出力機能)

70~150mmの距離を20~4mAのアナログ電流として出力する機能であり、センサと検出物体の距離をモニタする場合に用いる。応答速度は、10-90%応答で1ms以下である。直線性誤差、分解能は検出物体として板厚0.6mmの白セラミック板を用いた場合、以下ようになる。

直線性誤差・・・±1.5%FS(±1.2mm)  
分解能・・・200nm(位置：70mm位置)

図13、14は、白色および黒色セラミック板を検出物体としたときの各感度における直線性誤差の測定結果のグラフである。

黒色セラミック板の場合、距離が大きい側で誤差が著しく増大している。これは、受光光量の不足により、前出の除算器の演算誤差が増大するためである。この場合、感度Hにする事で、ある程度の改善が可能となる。

また、図15にアナログ距離出力-距離特性のグラフを示す。所定の検出範囲(70~150mm)をはずれると出力電流値が不定となるので注意が必要である。

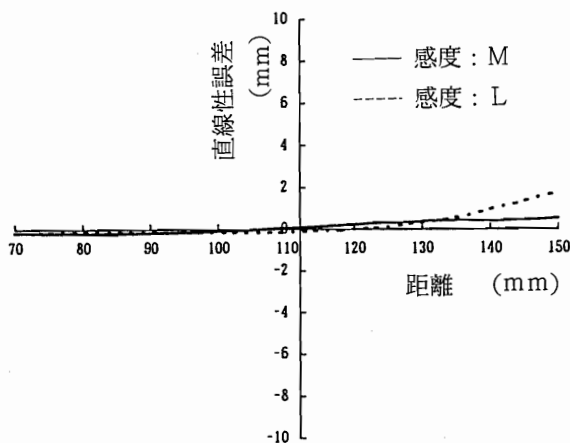


図13 直線性誤差-距離特性  
(検出物体：白色セラミック板)

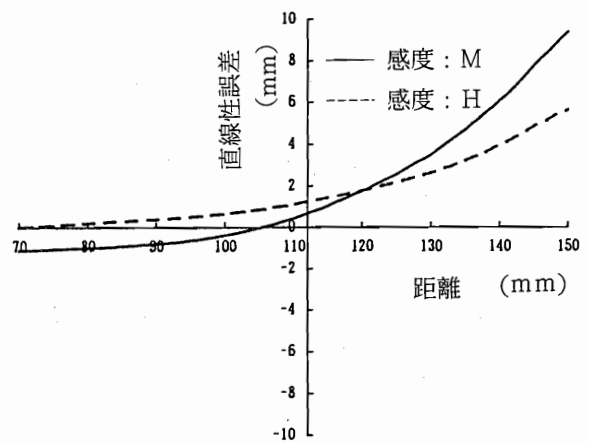


図14 直線性誤差-距離特性  
(検出物体：黒色セラミック板)

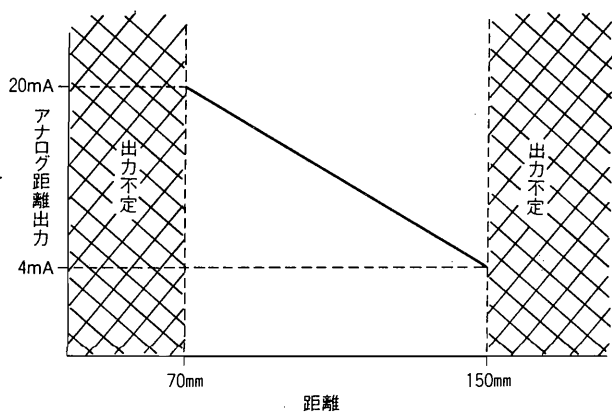


図15 アナログ距離出力-距離特性

### 5.4 投光ビームサイズ

SA1Mの光源には波長670nmの赤色レーザーダイオードを採用している。そしてそのビームサイズには、小スポットタイプと平行ビームタイプの2つがある。図16にそれぞれのビームサイズを示す。

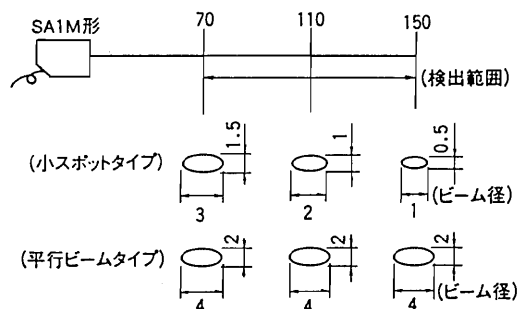


図16 ビームサイズ (単位: mm)

小スポットタイプは以下に示すような、微小な物体の検出に適している。

- ・薬品や食品の製造年月日等の印字の有無。
- ・電子部品(IC等)のピン検出。
- ・金属、プラスチック、ダンボール等の表面の傷や溝の検出

また、平行ビームタイプは、同じく以下に示すような、ビームサイズより大きな物体の検出に適している。

(検出物体表面の汚れ、色ムラ、細かな模様、傷等による影響が、小スポットタイプに比べて少ないため、安定した検出が行える。)

- ・ダンボール箱に印刷されたマークや文字の検出
- ・製品に貼られたラベルの有無検出

## 6. 使用に際しての留意点

SA1M形レーザーマークセンサを実際に使用するにあたり、留意すべき項目について以下に述べる。

### 6.1 レーザの安全対策

投光素子として赤色半導体レーザー(波長:670nm、最大出力5mW)を使用している。これは、JIS C6802(レーザーの安全基準)に定めるところのクラスⅢaに該当し、本製品においてもそれに準拠した安全対策が施してある。

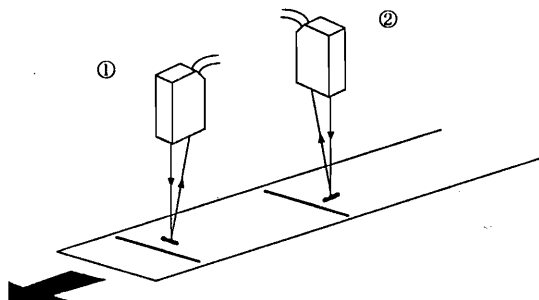
まずは、外部信号によりレーザーの放射を制御するリモートインタロック機能の装備である。これは、レーザーリモートインタロック入力用のリード線を、スイッチ等を介してグラウンド線(NPN出力タイプ)または電源DC24V線(PNP出力タイプ)と短絡することにより、レーザーの放射を停止させるものである。

その他には、取り扱いの際の注意事項を記載した注意銘板、レーザー放射位置を示す開口ラベルが製品本体に貼り付けてある。

なお、センサの設置に際しては、作業者と投光軸間に不透明な遮蔽物体を置く必要があり、検出物体の直接反射率が高い場合や、また、それがない状態での背景が鏡面である場合には、それらからの副次反射光にも十分な配慮が必要である。

### 6.2 取り付け方向について

幅の狭いライン状のマーク、細い溝、傷等を検出する場合には図17の①の方向にセンサを取り付けるとビームスポット内にマークが占める割合が高くなり、検出が安定する。また、そのようなマーク、溝、傷等を無視したい場合には②の方向にセンサを取り付けるとビームスポット内にマークが占める割合が低くなり、それらの影響を低減できる。



- ①: ビームの長手方向とマークの長手方向が一致する。
- ②: ビームの長手方向とマークの長手方向が直交する。

図17 センサの取り付け方向

また、光学式三角測距法を採用しているため、基本的には図18(I)に示すように、センサの検出面が検出物体と正対するように取り付ける。ただし、例えば薬品の梱包箱のように、検出物体の表面に光沢がありしかも凹凸のある場合には、図18(II)(III)の(O)の方向に5~10度傾斜させると、より安定した検出が行える。

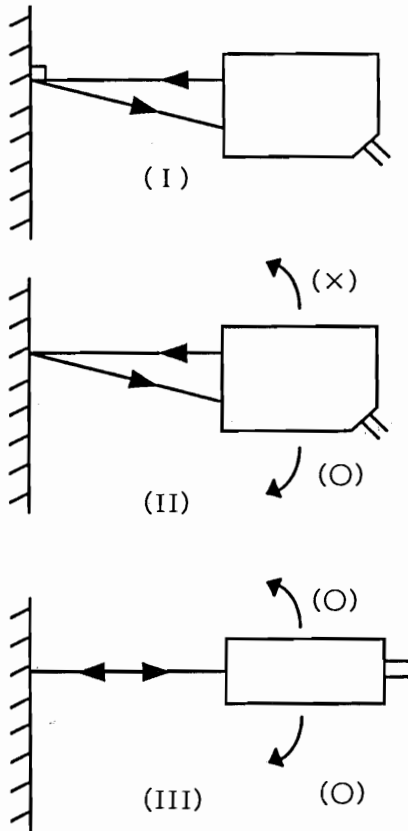


図18 センサの取付方向

### 6.3 側面反射による影響

図19に示すような位置に物体があった場合、副次反射光が受光レンズに入光したり、本来必要な反射光を受けることができないことがある。このような状態では、検出不能となるので注意が必要である。

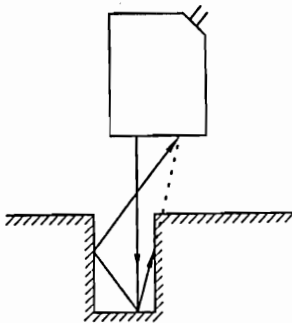


図19 側面反射による影響

## 7. アプリケーション

SA1M形レーザマークセンサのアプリケーションを紹介し、その具体的な設定・検出方法について説明を加える。

### 7.1 ジュースパックの日付印字の有無検出

印字サイズが高さ3~4mm程度と小さい場合、図20の様に小スポットタイプのSA1Mをできるだけ検出物体から離して設置する(最大150mm)。

また、2台のファイバセンサを使って同期を取ることで、日付を印字する位置でのみ、SA1Mの出力が有効となるようにする。

図21は印字の有る場合と無い場合のSA1Mのアナログ光量出力のデータである。図のように判定出力のしきい値を設定することにより、印字の無い製品が流れてきた時にNGの信号を出力することが可能となる。

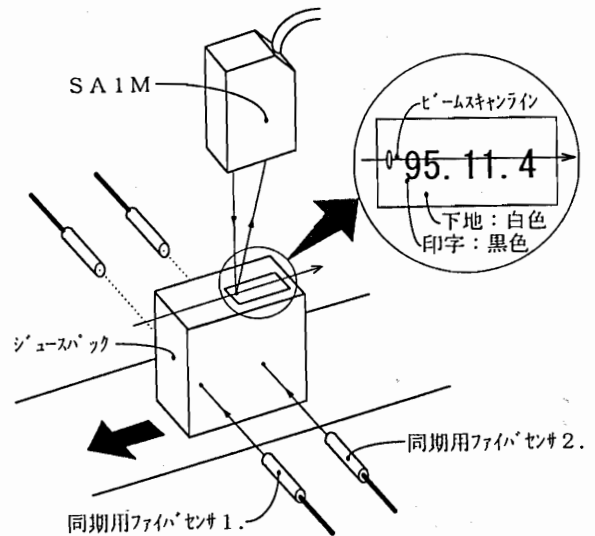


図20 設置図

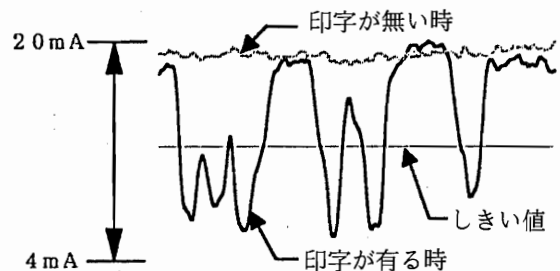


図21 印字部でのアナログ光量出力データ

7.2 段ボール箱に貼付けられたラベルの有無検出

ベルトコンベア上を流れてくる段ボール箱に貼られたラベルや印刷されたマークの有無を検出する場合、センサまでの距離や角度が一定ではないため、従来のセンサでは安定して検出することが困難である。

SA1Mを用いた場合、図22に示すように検出物体までの距離が70~150mmの範囲であれば、安定した検出が可能となる。角度の変動に対しては、箱の部分とラベル(又はマーク)の部分の反射率の差の大きさによって安定して検出するための余裕度が変化する。白色のラベルの余裕度は、感度Mで約±30度である。

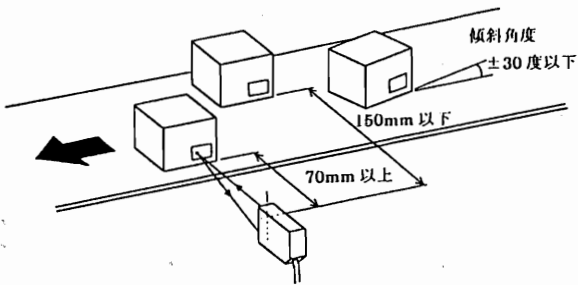


図22 設置図

8. おわりに

以上述べてきたように、SA1M形レーザーマークセンサは、新たに考案したCOD方式の採用により非常にユニークなキャラクターを持った、これまでにないタイプのセンサである。それ故にその用途は、文字通りのマーク検出にとどまらず、製品の認知度が高まるにつれ、ますます広がっていくものと考えられる。

今後は、色識別能力や出力安定度の向上、検出物体の傾斜による影響の補正、鏡面物体に対する検出能力の改善、といった課題を解決し、生産システムや検査工程の自動化を妨げている様々な問題の解決に貢献できる優れた製品を開発して行く所存である。

参考文献

- 1) 西原一寛、錦朋範：MX1A/1B形レーザー変位形について、  
IDEC REVIEW 1991, p.50-58