

無人台車の広視野衝突防止センサに関する研究

Study on Wide-view Collision Avoidance Sensor for Unmanned Truck

水野 雄一郎*・津田 紀生**・山田 諄**・古橋 秀夫***・内田 悦行***
Yuichiro MIZUNO, Norio TSUDA, Jun YAMADA, Hideo HURUHASHI and Yoshiyuki UCHIDA

Abstract : Many unmanned trucks are used for a carrier system in automatic factories. When unmanned trucks are driven on the passage of work-peoples, a safety device for preventing collisions is necessary. We design a new type of collision avoidance sensor to detect in a wide range, which is a simple device composed of a semiconductor laser and a CCD camera. A proto-type sensor is produced and its performance is examined. As a laser beam like a sheet is irradiated ahead and a CCD camera is used for two-dimensional area sensor, the sensor can detect in wide range. Therefore, it is concluded that this simple device is possible to be used for wide-view collision avoidance sensor.

1. はじめに

我が国のような工業生産国において、工場における搬送システムとしてはベルトコンベアを使用することが多いが、FA化により、搬送システムの自動化がますます進み、より一層の生産性の向上、省力化が求められている。従来の少品種多量生産方式においては、コンベアだけでも十分に対応できていた。しかしながら、近年、少量多品種生産方式が求められるようになってきた。そのため、今までのコンベアだけによる搬送システムでは、取り扱う物の種類が増え、しかも、扱う量の少なさのために設備コストが割高になってしまう。そのため、生産量の変化、生産ラインの変化、及び取り扱い物の変化に対応できる搬送システムが求められている。そこで、上記のような変化に対応でき、設備コストが他の搬送システムと比較しても低いなどの理由から、最近では、このようなフレキシブルなFA化において、ベルトコンベアに変わり、無人搬送車の導入が注目されてきている。また、従来の少品種多量生産方式の工場においても、コンベア間の搬送に、無人搬送車を使用することが増えてきている。そこで、無人搬送車

を導入することにより、工場内で専用通路を設ける必要がなく、一般作業者の通路を利用できるようになる。しかし、安全性の面からみると、作業者やその他の物が、無人搬送車にとっては障害物となることがある。そのため、衝突を防止するために何らかの安全装置を設ける必要がある。

一般に、衝突を防止するセンサとして、超音波を用いた方法や光電スイッチを用いた方法があるが¹⁾、超音波を用いた場合、工場内の騒音などによって誤動作を起こす場合がある。また、光電スイッチを用いた場合、一次的にしか障害物を監視できないので、広範囲で検出できるようにするには、複数個用いなければならないが、それでも不監視領域が生じてしまう。また、受光量のみで反応するので、障害物の種類によって誤動作を起こす場合がある。

これらの欠点を解決するため、半導体レーザとCCDカメラによる比較的簡単な装置を用いた、騒音による誤動作がなく、広範囲に検出可能な衝突防止センサを考案した。半導体レーザの前面に、シリンドリカルレンズを取り付けることにより、垂直方向だけを集光させ、水平方向はそのままレーザ光の拡がるシート状レーザビームを前方に照射し、CCDカメラを二次元エリアセンサとして用いることにより、広範囲で検出できるようになる。

この場合、障害物に対して非接触で広範囲に検出できるのはもちろん、CCDカメラからの映像を画

* 愛知工業大学大学院電気電子工学専攻（豊田市）

** 愛知工業大学電子工学科（豊田市）

*** 愛知工業大学情報通信工学科（豊田市）

像処理ボード等で複雑な処理を行う必要がなく、アナログ式に回路を構成するため応答速度が速いという特徴がある。

本研究では、このような特徴を活かし、無人搬送車をより安全に停止させる比較的簡単な装置で、小型且つ安価な広視野衝突防止センサを CCD カメラと半導体レーザを用いて試作し、その有用性を調べることを目的とした。

2. 広視野衝突防止センサの測定原理

2.1 測定原理

本研究の測定原理を説明するための概念図を図 1 に示す。光源として、半導体レーザ（発振波長：780nm）を用い、その前面に、シリンドリカルレンズを取り付けた。シリンドリカルレンズとは、図 2 のようなかまぼこ型をしたレンズで、入射光に対し、レンズの幅方向（z 方向）に変化を与え、長さ方向（x 方向）には変化を与えずにシート状の光ビームを形成するレンズである。これにより、レーザ光は垂直方向だけが集光され、水平方向は、そのままレーザ光の拡がりが残るので、広範囲に検出できるようになる。そこで、半導体レーザからある高さのところに CCD カメラを設置する。レーザ光が、障害物に照射され反射散乱した光を、可視カットフィルタを前面に取り付けた CCD カメラで受光する。そのカメラに傾きを持たせることによって、点 A か

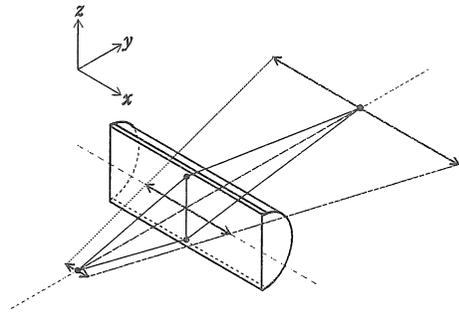


図2 シリンドリカルレンズ

ら、点 B までの映像信号を取り込むことができる。この間が 1 画面を表している。そして、垂直同期信号が 1 画面ごとに付加されている。このとき、近くの点 C での戻り光は、画面の上の方、つまり、垂直同期信号から近いところに輝度信号が現れ、また遠くの点 D での戻り光は、画面の下の方、つまり、垂直同期信号から、点 C よりも遠いところに信号が現れる。このように、距離情報を垂直同期信号からの時間で表すことができる。そこで、同期信号から任意の遅れと任意の幅を持つゲートパルスを作り、ゲートパルスの遅れ時間やゲート幅を変えることにより、検出できる距離範囲を任意に変えることができる。

2.2 出力波形

本研究で試作した測定回路の各部における実際の出力波形を図 3 に示す。

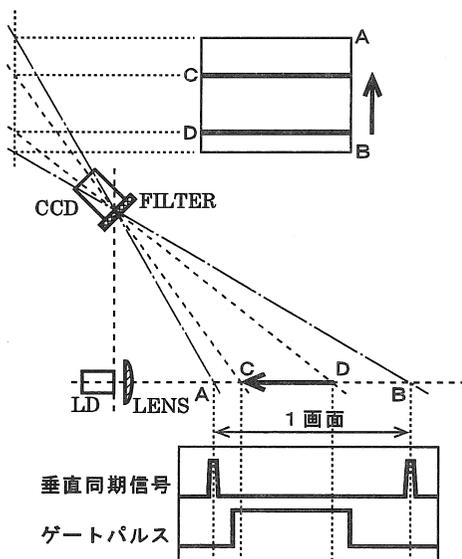


図1 測定原理の概念図

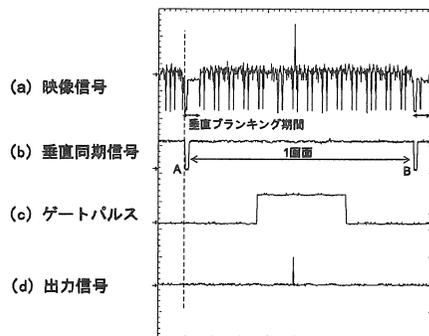


図3 出力波形

図 3 (a) が、CCD カメラのビデオ信号である。実験に用いた CCD カメラには、モノクロカメラを用

いたため、輝度信号しか現れていない。波形の中央部分がレーザー光からの反射光で明るくなり、電圧が高くなって信号として現れているのがわかる。また、垂直ブランキング期間（垂直帰線期間）から、垂直同期信号を取り出す（図 3 (b)）。垂直同期信号 A と垂直同期信号 B との間が、1/2 画面を表している。これから、その下のゲートパルスを作る（図 3 (c)）。このように、障害物までの距離を、垂直同期信号からの時間で表されるのが分かる。そして、ゲートパルス間に、あるしきい値以上の映像信号が現れたとき、出力信号（図 3 (d)）が現れる。したがって、ゲートパルスの位置、幅を変えることによって、障害物を検出できる距離範囲を変えることができる。そして、設定したゲート間に、あるしきい値以上の映像信号が現れたとき、出力信号が現れる。

3. 広視野衝突防止センサの構成

本研究において試作した装置のブロック図を図 4 に示す。試作した広視野衝突防止センサは投光部、受光部そして検出回路からなる。

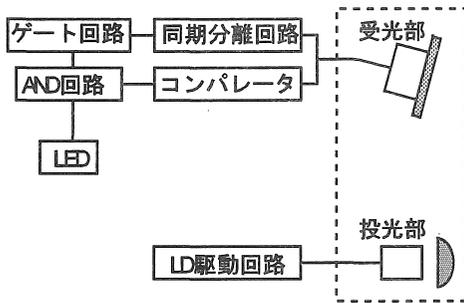


図4 装置ブロック図

3.1 投光部

投光部は、半導体レーザー（LD）とシリンドリカルレンズからなる。投光部の大きさは、10cm × 10cm で、LD 駆動回路を組み込んである。使用した LD は、シャープ（株）製の LT022PD で、発振波長 780nm、定格出力 3mW である。本研究では、光出力 2.4 mW の連続光として使用した。その前面にシリンドリカルレンズを取り付けた。シリンドリカルレンズは、大きさ 22mm × 60mm、焦点距離 25.4mm

のものを使用し、LD-レンズ間の距離を 25.6mm とした。これにより、レーザー光は垂直方向だけが集光され、水平方向はそのままレーザー光の拡がりが残る。本研究では、レーザー光の焦点を約 3m に設定した。しかし、回折により、ある程度拡がりを持ってしまう。そのため、CCD カメラでスポットサイズを測定しながら LD-レンズ間の微調整を行った。その結果 3m 付近でのレーザー光の幅は約 7mm になった。

3.2 受光部

本研究で用いた CCD カメラは、A Shin Electronics Co.,LTD.製の ASC-307M-AA で、安価なモノクロカメラである。そこで、レンズの収差をモニタを通して計ったところ、40cm 先での最大の収差は、2.7cm であった。また、このカメラのレンズも 3m 付近で焦点が合うように調節した。そして、カメラの前面にシグマ光機（株）製の可視カットフィルタ SCF-50S-70R を取り付けることにより、波長 700nm より長い波長だけを通過させることができる。また、この CCD カメラの視野角は、全角で、 $\theta_{\parallel} = 72.8 \text{ deg}$ 、 $\theta_{\perp} = 54 \text{ deg}$ である。装置は、投光部と、受光部を組み込んだもので、今回は、試験的なもので基本的な特性を測定するために、CCD-LD 間の距離や CCD カメラの角度を変えられるようにしたため、やや大きくなったが、装置全体としては、10cm × 10cm、高さ 30cm となった。

3.3 検出回路

CCD カメラからのビデオ信号から、垂直同期信号を取り出す。これから、ワンショット・マルチバイブレータを用い、CR 遅延回路によりある幅を持たせたパルスを二つ作る。このパルスを組み合わせることによりパルス幅可変のゲートパルスを構成することができる。

また、コンパレータによって、映像信号をしきい値と比較し、しきい値よりも高い電圧が入ってきたときに出力が現れる。このしきい値を設定することで、外乱光で動作しないようにしている。したがって、しきい値を高く設定すれば、それだけ外乱光に強くなるが、レーザー光も設定したしきい値以上の受光量が得られるようにしなければならない。

そして、コンパレータの出力とゲートパルスの AND を取ることで、ゲートパルス内に障害物があるかを判断できる。AND 回路の出力で LED を点灯

するようにしている。

4. 実験結果と考察

4.1 測定条件

本研究は、レーザー光が障害物に当たり、反射散乱した光の一部を、CCD カメラの個々の画素により受光し、障害物の有無を戻り光の強弱によって判断する。可視カットフィルタを取り付けることにより、波長 700nm 以上の光のみが受光されるようにしたけれども、太陽光や蛍光灯のような外乱光には、さまざまな波長の成分が含まれており、当然波長 700nm 以上の赤外光も含んでいる。したがって、CCD カメラへの受光量が飽和してしまう程の強い光が入射した場合、またはレーザー光が反射散乱してきた戻り光量よりも強い光が同時にやってきた場合には正常に動作しない場合がある。

そのため、基礎的な測定を行うのに、外部から太陽光が入らないように暗幕を取り付けた実験室内で蛍光灯を点けた状態で行った。また、上部から蛍光灯の光が直接 CCD カメラに入らないように、CCD カメラの上にひさしをとりつけ、CCD カメラの設置位置より下に存在する光のみが受光できるようにして測定を行った。

また、本来は、無人台車に取り付けるべきものであるが、試験的に、逆に試作した衝突防止センサを固定し、障害物を近づけることで、その特性を調べた。

4.2 レーザ光の距離に対する集光スポット幅の測定

LD をシリンダリカルレンズを用いて集光させているが、焦点を約 3m に合わせても、回折により、どうしても幅を持ってしまう。そのため、実際には、どの程度レーザー光のスポット幅があるのかを調べるために、LD からの距離を 0.5m から 0.5m 間隔で 3.5m までの中心ライン上におけるスポット幅を測定した。測定は、レーザー光が可視光でないため、障害物の直前に可視カットフィルタを取り付けた CCD カメラを近づけ、ビデオ端子からモニタにつなぎ、モニタを見ながらどの程度幅を持っているかを測定した。その結果、スポット幅はすべての所で約 7mm とほぼ一定であった。

4.3 検出領域の測定

実際に LD の光がどの程度の距離まで届いているのかを測定した。

本測定原理における距離センサは、障害物からの戻り光量を、ある値に設定したしきい値以上の光が入ったときのみ反応することで動作している。そのため、しきい値の設定によって、検出領域に差が生じる。また、しきい値をある値に設定しても、CCD カメラと LD との距離つまり高さや材質によって戻り光量が異なるので、検出領域に差が生じる。

そこで、しきい値、高さ、CCD の角度及び測定対象物の材質による検出領域の違いを測定した。ここで、障害物を、CCD の中心軸と常に垂直になるように置いて測定を行った。

4.3.1 しきい値及び高さの違いによる検出領域の変化

しきい値を 200mV、250mV、300mV と変えたときの検出領域の変化を図 5 に示す。障害物には、

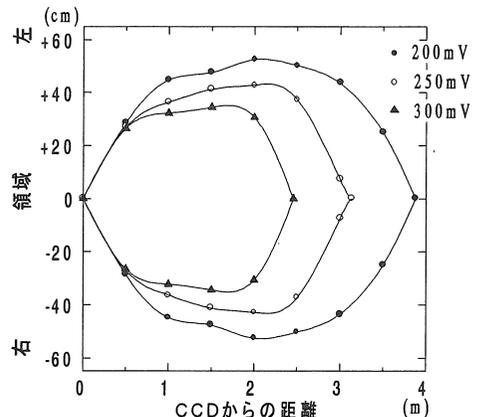


図5 しきい値による領域の変化

幅約 6cm の白い箱を用い、ここでは、CCD カメラに対し、角度が受光面に垂直になるようにした。障害物が何も無い状態で映像信号をみると、映像信号は最大で 190mV であった。したがって、もし、しきい値を 200mV よりも低く設定してしまうとレーザー光によるものか、外乱光によるものなのかが分からなくなってしまう。そのため、最低のしきい値を 200mV として、250mV、300mV と 3 つのしきい値を設定して測定を行った。このようにしきい値を 200mV に設定した場合、最大で、距離約 3.9m、幅は CCD カメラからの距離が 2m の所で約 1m 検出

できることが分かった。また CCD カメラからの距離が 50cm の所での拡がりをもっと最大検出角度とすると、最大検出角度は約 59.6deg であった。しきい値を変えたときの結果であるが、当然、戻り光量は距離が遠くなるにしたがって少なくなるので、しきい値を高く設定すれば、検出領域は狭くなっている。

また、LD から CCD カメラまでの高さを 16cm と 30cm に設定したときの検出領域の違いを図 6 (a) に示す。またその時の中心ライン上での CCD への実際の受光量を図 6 (b) に示す。このように、距離が離れるに従って、受光量が減っていくのが分かる。これらの結果から、高さを低く設定したときの方が検出領域が広いのが分かる。これは、CCD への戻り光の入射角度が受光面と垂直に近いからだと思われる。

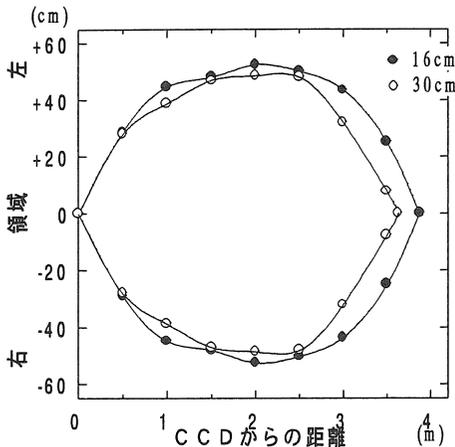


図6 (a) 高さの違いによる領域の変化

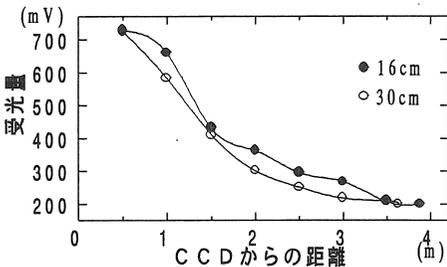


図6 (b) 高さの違いによる受光量の変化

4.3.2 材質の違いによる検出領域の違い

材質として、白い箱、木材、アルミ板、黒い鉄を用いた。ここで、黒い鉄は、つや消しの黒がコーティングされているものを用いた。この時の各材質と

も幅約 6cm のものを用いた。この時の結果を図 7 に示す。材質別に見ると、木材は、白い箱よりも若干、検出領域が広いことが分かる。これは、木材の散乱光の方が、白い箱の散乱光より拡がりをもっているためだと思われる。また、アルミ板は、反射率が高いため、かなり遠い距離でも、応答したが、検出幅は少し狭くなる。黒い鉄では、他と比べ、かなり視野が狭かったが、鉄（金属）を用いたため、思ったより反射率が高く、中心ライン上では 2m まで応答した。

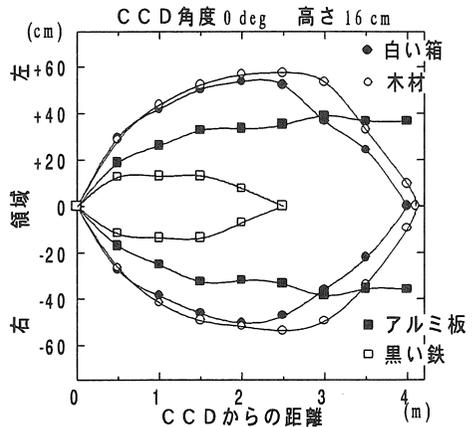


図7 材質の違いによる領域の違い

4.4 バラツキ誤差

次に、CCD からの距離を、1m、2m、3m の位置に、あらかじめゲートを設定しておき、遠くから障害物を近づけてゆき、どの地点で LED が点灯し始めたかを 5 回測定して、そのときの距離の平均を取り、バラツキ誤差を測定した。その結果を図 8 に示す。

ここで、バラツキ誤差とは、次式で表される。

$$\text{バラツキ誤差} = \frac{(\text{測定値の最大値}) - (\text{測定値の最小値})}{\text{測定値の平均値}} \times 100(\%)$$

これは、測定を数回繰り返した時の測定値の安定性を示したものである。この結果より、バラツキ誤差に関しては、白い箱、木材に関しては、2%以内に収まっており、ほとんど同じバラツキ誤差特性を示しているのが分かる。しかし、アルミ板は他のものと比べ誤差が少し大きくなった。これはアルミ

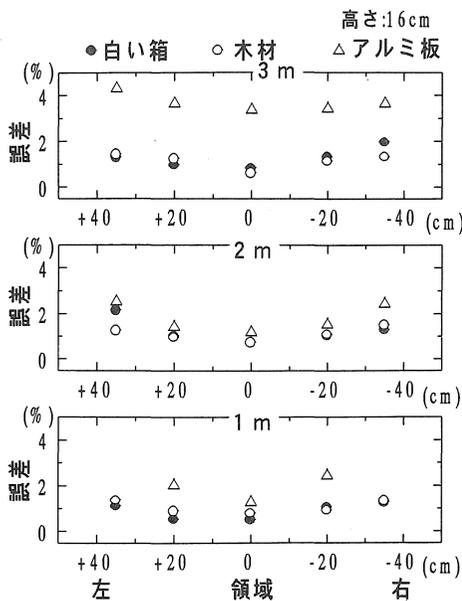


図8 各距離における材質別のバラツキ誤差

板は、かなり反射率が高いので、反射散乱光が強いため他の画素にも光が入ってしまい、映像信号のしきい値以上の値が幅を持つために誤差が大きくなったものと思われる。実際、ビデオ信号をモニターを通して見てみると、反射散乱した光が、かなり強く光るのがモニター上で見られた。また、中心から離れるに従って、バラツキ誤差が増えてしまうのは LD が端の方へ行くにしたがって、光出力が弱くなってしまいうため、それによる受光量の低下によるものと思われる。

5 まとめ

本研究では、半導体レーザと CCD カメラと簡単な回路により、広視野衝突防止センサを考案、試作し、その有用性について検討した。その結果、LD と CCD カメラによる比較的簡単な装置で広視野衝突防止センサとして使用できる可能性があることが分かった。

その結果、検出領域はしきい値が低いほど、高さが低いほど広いことが分かった。特性として、最大検出幅距離は約 3.9m で、最大検出幅は CCD からの距離が 2m の所で、約 1m であった。また、最大検出角度は、距離 50cm の所で、全角で約 59.6deg

であった。ここで、CCD カメラの水平視野角は全角で、およそ 72deg あったので、CCD カメラの視野全体を有効に利用しているとは言えない。しかし、これは LD を複数用いることで解決できると思われる。

また、バラツキ誤差については、白い箱と木材はほぼ同じようなバラツキ誤差特性を示した。しかし、アルミ板のような反射率の高い材質に関しては、バラツキ誤差は増えてしまった。

このように、本装置の主な特徴は、材質によらずにセンサとしてほぼ一定の距離で動作する点である。これは、CCD カメラをエリアセンサとして用いたことで可能となった。この他に、本センサは障害物に対して非接触で広範囲に検出できる。複雑な画像処理を行う必要がない。アナログ式に回路を構成するため応答速度が速い。しきい値以上の受光量が得られる領域ならば、任意の距離にゲートを設定できる等の特徴を持つ。

衝突防止センサとして用いるには、精度に関しては、ほぼ満たしているのではないかとと思われるが、外乱光対策の面では、まだ実用化の段階であるとは言えない。また、垂直同期信号から垂直ゲートパルスを作り、任意の距離で、ゲートを設定するのと同様に、水平同期信号から水平ゲートパルスを作ることにより、任意のエリア内での障害物の検出も可能になるとと思われる。

今回は、試験的に障害物を動かすことでその基礎的な特性を調べたが、実際に無人台車に取り付けて、工場内の粗面上での移動や振動による影響などについても今後検討を重ねる必要がある。

参考文献

- 1) 高橋清、小長井誠：センサエレクトロニクス、昭晃堂

(受理 平成 9 年 3 月 21 日)