

安全確認型車載障害物検出の一考察

山崎 茂 白井 稔人 浅田 規裕

日本信号株式会社 研究開発センター

自動運転・安全運転支援・スマートウェイ・スマートカーなどを実現する上で重要な技術の一つに、障害物検出・衝突防止技術がある。なかでもスマートカーと呼ばれる車両は、走行時、障害物との衝突を防止するために、障害物を検出する機能、つまり障害物センサーを搭載する。本稿では高安全の障害物センサーを提案する。さらに今後国際安全規格に適合するシステムの開発を目指す。

A Study on obstacle detecting sensor system based on checking its functional safety

Shigeru Yamazaki Toshihito Shirai Norihiro Asada

Nippon Signal Co., Ltd. Research and Development Center

We need to develop an Obstacle Detecting Sensor in conjunction with Collision Avoidance System. In order to realize automated vehicle operation, safe driving support system, "Smart-way", "Smart-car", etc. This has become an important priority. In this paper, we propose high-level safety obstacle detecting sensor system. It is our way of thinking that obstacle detecting sensor system based on checking its functional safety is required to comply with the International Safety Standard.

Keyword : Obstacle Detecting Sensor, Based on Checking its functional Safety, Smart-Car, Smart-way, International Safety Standard,

1. はじめに

ITS(Intelligent Traffic System)における目標の一つに自動運転システムがある。現在においても、ユリカメなどの新交通システムにみられるように、専用軌道を利用した自動運転システムは、実用化されている。しかしながら、現在の自動運転は、防護柵などにより他の交通の侵入を完全に遮断した、限定された空間でのみ成立するシステムとなっている。

鉄道システムでは、走行路を複数の区間に分割し、軌道回路などの地上設備によって各々の区間で車両の不在を確認し、後続の車両の進行を制御する(閉塞システムと呼ばれている)。

地上設備の簡略化のためには、車両側に自車の進路上に運行を妨げる物体が存在しないことを確認する、障害物検出機能が必要となる。現在さまざまな障害物セン

サーシステムが考案され、安全運転支援自動車、自動運転車両などへの搭載が予定されている。

このようなセンサーシステムにおいて、障害物検出機能の安全性は重要である。障害物検出機能が喪失すると、障害物が存在するにも拘わらず、それを検出できない事態に至るからである。現在、IEC(国際電気標準)からは、光レーダーセンサーの安全性に関する提案がなされている(IEC61496-3)。

本稿では、レーダーセンサーシステムの安全性に関する基礎的要件を配慮して、SMOS(Silicon Micro Optical Scanner)[®]を用いた路面検出型障害物検出方法の基本構成を示す。

本稿で示す検出方法は、路面からの反射を用いて障害物検出機能の動作確認を行える点が特徴である。

2. 車載用障害物センサー

2.1 超音波センサー

超音波センサーは、超音波の伝播速度(既知)により、ターゲット物体において反射された超音波の到達時間からその距離を求めるレーダーセンサーのである。40～50kHzの超音波が利用されている場合が多い。自動車分野の用途では、コーナーセンサーや、車両感知器などがある。超音波の反射率は反射表面の剛性による。鉄板などでは良好な反射特性を示すが、グラスウールなどの空気を多く含む柔らかい素材では、吸収が大きく反射率は低い。我々の生活環境中には超音波の発生源(=雑音源)が多く、可聴域に近い超音波を高エネルギーで多用することは生体に与える影響も無視できない¹⁾。

2.2 ミリ波レーダーセンサー

ミリ波レーダーセンサーは今後の自動車用車間制御用センサーとしての利用が期待されているシステムである。ミリ波は赤外線レーザーに比べ、悪天候下でも利用可能であるなどの長所がある。しかし、電子的・機械的にスキャンさせることが技術的に難しく、現状のスキャン角度は10～15°程度にとどまっている²⁾。

2.3 ステレオ画像センサー

ステレオ視は CCD カメラ及び画像処理装置によって構成される。ここで、CCD カメラは人間の両眼のように横または縦に配置する。左右のカメラの幾何学的な配置や、レンズの焦点距離を既知とすると、左右カメラの画像中に同じものが映るとき、対応する点の画素が左右のカメラ内でどこに位置するかを計測し、三角測量の原理で距離を算出する。対応点検出は、画像中の明暗・色彩が急変する箇所すなわちエッジを検出することによって行える。また、視差により左右の画像に互いに存在しない部分に関しては、距離の算出ができない。この対応点を求めること(対応点決定問題)が難しく、さまざまな解析アルゴリズムが提案されておりロバスト性が低い。また対応点検出処理を高速化するためにプロセスをハード化した例もあるが、検出結果があいまいな場合も多い。完全に実用化されるにはまだ時間が掛かるものと思われる。ただし、最近の CCD の性能、特にダイナミックレンジの向上は目を見張るものがあり、また画像処理プロセッサの性能向上はいうまでもない。これらの性能向上により、ステレオ視の性能向上が見込まれている³⁾。

2.4 レーザーセンサー

レーザーレーダーセンサーは、車載型が実用化されている。赤外線レーザーを利用したこのセンサーは、レーザーの持つ高い指向性、瞬時性、直線性により空間分解能のきわめて高いセンシングデバイスとして利用できる。レーザーレーダーは、光速(既知)により、レーザー

パルスのを送信してから、受信するまでの時間を計測する TOF (Time Of Flight)方式や、レーザー光を変調し、送信波と受信波の位相差と変調周波数から時間差を求める方式がある⁴⁾。車載用途では、前方を走行する車両及び障害物が、常に自車正面に存在するとは限らないし、道路線形も複雑であるから、レーザーを左右及び上下にスキャンする必要がある。レーザーをスキャンさせることによって、距離画像が得られる。距離画像が得られるレーザーレーダーシステムをレーザーレンジファインダーという。レーザーのスキャンデバイスとしては、ポリゴンミラーやガルバノモーターなどがある。これらのデバイスはマスの大きいポリゴンミラーやガルバノモーターを回転させるため、可変振幅速度・可変振幅角度などの DC 制御や、装置の小型・計量・低消費電力化が難しい。そこで、図 1 のような SMOS(Silicon Micro Optical Scanner)による超小型 2 次元スキャナ⁵⁾を利用すれば、スキャナデバイスが小型・軽量・低消費電力であり、ミラーのマスが大変小さいため、様々な駆動パターンが再現できる。

このスキャナは、平面コイルを配置したシリコン可動板にミラーを蒸着してある。磁束 B 中で可動板=ミラーはトーションバーを軸にして回転する(図 2)。

赤外線レーザーは激しい雨・霧に吸収されてしまうという弱点がある。また、強力な赤外線レーザーは人間の目に入射すると網膜などに甚大な影響を与えてしまう。

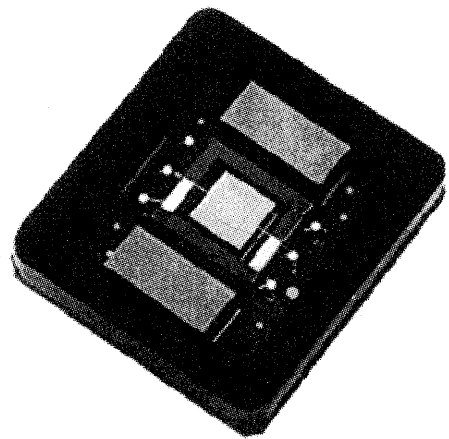


図 1 SMOS(一次元)実物図

※SMOS デバイスの大きさ⁶⁾

素子	: 20×22(mm)
可動板	: 4×4(mm)
周波数	: 約 1.5kHz
可動角	: 約 ±20° (光学角)
定格電流	: 約 60mA

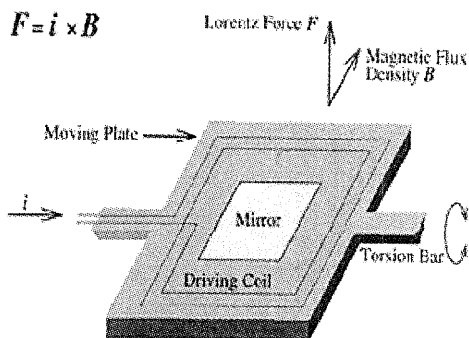


図2 SMOS原理図(一次元)

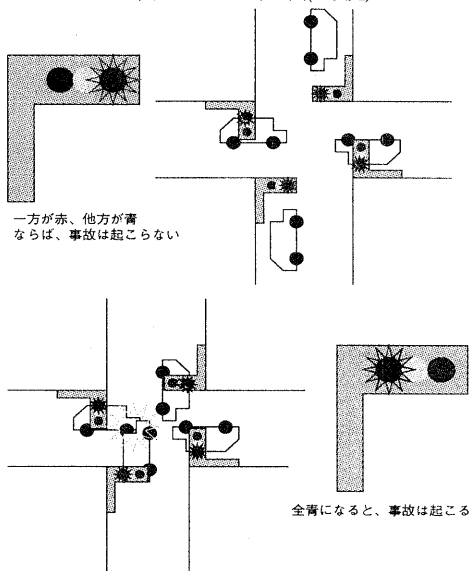


図3 信号灯制御の例

3. フェールセーフなセンサーシステム

3.1 フェールセーフ条件

フェールセーフとは、機器が故障した場合に、その機器が危険を及ぼす作用を起こさないことである(特定の障害モードが圧倒的に安全な方向であるようなアイテムの設計特性(IEC61508))。交差点の信号機を例にとると、信号制御機が何らかの故障を起こしたとする。もし、全青になるような故障状態になれば、交差交通は互いに進路を譲ることなく、事故になってしまう。これは防がなくてはならない事態であり、交差点信号制御機はどのような場合でも故障時には全青にならないように設計されねばならない(停電時には滅灯するが青にはならない)。このような構成をフェールセーフであるという。図3に交差点信号灯制御の例を示す。

3.2 レーダーセンサーの問題点

レーダーセンサーの問題点^⑧を動作原理から考えると、トランスミッターからエネルギーを送出し、レシー

バーでターゲットからの反射エネルギーを受信する。この場合、障害物がある場合を危険とするわけであるから、反射エネルギーがある場合(図4(A))を危険として、障害物がない場合(図4(B))すなわち、反射エネルギーがない場合を安全と判断することになる。

エネルギーがない場合を安全とみなすことは、トラブル発生を配慮すると安全の観点から問題がある。ターゲットがエネルギーを反射しない物質の場合、しなかった場合(図4(C))はどう判断されるのか。また、適切な範囲・時間・出力でトランスミッターがエネルギーを送出していないかもしれない。さらに、レシーバーが何らかの原因で動作していないかもしれない。電源が的確に供給されているかどうか不明確である。また、反射波が生じないような物質の場合、もしくは、生じて受信レベルが極端に小さい場合は、そのようなターゲットが存在するかどうかは断定できない。

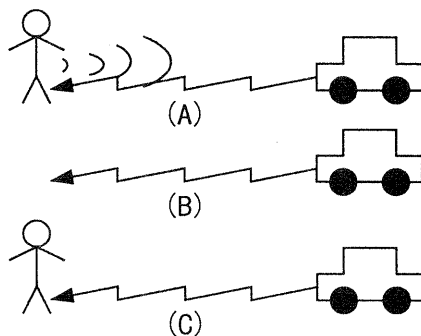


図4 反射エネルギーの有無による危険・安全の判断

3.3 安全確認システムと危険検出システム

物体検知・障害物検出センサーシステムは二種類に分類される^⑨。エネルギーが存在するとき、安全が示されるような構成を安全確認システムと呼ぶ。反対にエネルギーが存在するときに、危険が示されるシステムを危険検出システムと呼ぶ。図5は二種類のシステムを、光ビームセンサを例で示す。図5(A)のような透過型光ビームセンサでは、正常時に監視エリア内に人が居ない場合は、投光器からの光ビームを受光器で受信し、安全を示す。人が居る場合は光ビームが遮断され、危険を示す。何らかの故障で光ビームが投光されない場合、受光器は光ビームを受光できないので、機器の故障は危険と判断される。しかし、図5(B)のような反射型光ビームセンサでは、投光器からの反射光がない場合、監視エリア内に人が居ないと判断する。しかし、投光器が故障して投光していない場合、受光器は反射光を受光できないため、人が居るにも関わらず、人不在を示してしまう。

図5(C)は反射体(リフレクター)を用いた透過型センサーを示す。動作原理は、図5(A)と同じである。しかし、

例えば別の反射体が光路に存在すると、この別の反射体・リフレクター間のエリアの監視をすることができない。ことため、送受光器とリフレクター間の距離(L)の確認が必要となる。

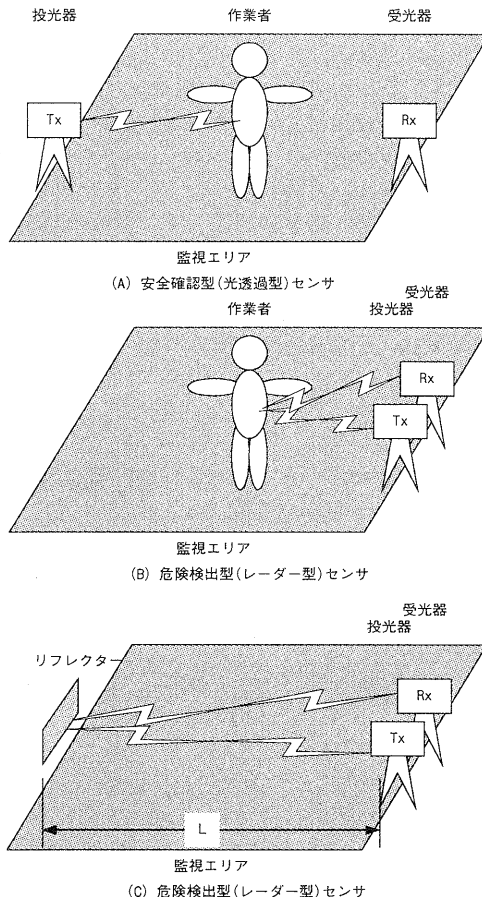


図5 安全確認型システムと危険検出型システム

4. 安全確認型障害物検出センサー⁽¹⁰⁾

4.1 レーダーセンサーの機能確認

レーダーセンサーのように、エネルギーを送出し、その反射エネルギーによって物体を検出する原理のセンサーにおける機能確認とは、以下のようなことである。

- ①検知区域を監視しているか
→そのエリアに向けてエネルギーを送出しているか
- ②検知区域内の物体が監視できるか
→物体が既定値以上のエネルギーを反射するか
→反射されたエネルギーを受信できるか
- ③所定時間間隔で、監視できるか
→必要なレスポンスを満たすか
- ④安全／危険という情報を出力できるか
→受信エネルギーを解析する手段が正常か

以上のような条件を常に確認することによって、そのセンサーの持つ「機能」が十分働いていることを「確認」できるのである。

4.2 故障の種類と発生時の影響について

センサーシステムの故障が、装置全体にどのような影響を与えるかを検討する。図6(a)のように、ある装置が故障した場合、車が停止するならばその故障は安全側の故障という。しかし図6(b)のように、その装置が故障した場合、車が暴走するならばその故障は危険側の故障という。例えば、エンジンが故障すれば、車は自然と止まるが、ブレーキが故障すると、最悪停車できなくなる。

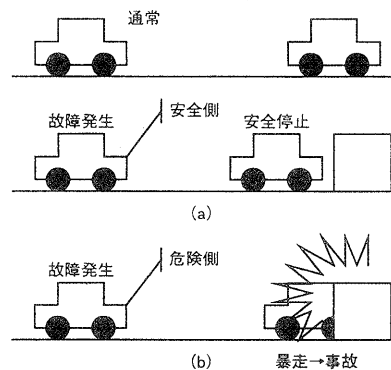


図6 安全側の故障と危険側の故障

4.3 現状のセンサーの対策

現在利用されている障害物検出センサーは、前述したとおり、障害物からの反射エネルギーを受信することによって、危険情報を出力している。そのためセンサー各部が確実に機能していることを常時監視でき、かつ、故障を検出できる機能が必要なことを示した。ここでは具体的な手段の一つを述べる。

AGVにおける超音波センサー及び光レーダーセンサーによる障害物検出に関する機能上の問題点(残存リスク)を表1に示す。

この残存リスクの回避方法として、表2のような手段がある。

干渉などの問題は、周波数・タイミングをずらすなどの工夫により回避でき、その他のリスクも、超音波センサーが利用される環境を、限定することによって回避できるとしている。裏を返せば、限定されたエリアでのみ超音波センサーのリスクが低減されるということになる。

表1 AGVにおける超音波センサーの残存リスク

(1)他センサーとの干渉
(2)2 次以降・間接反射の誤受信
(3)無応答(反射無し)
(4)周囲温度変動による音速変動
(5)死角(指向性無しでは広がり調整できず)
(6)超音波洗浄装置などの影響
(7)雨・風などの影響(屋外)
(8)傾斜面(再起反射せず)
(9)吸音材(反射無し)
(10)性能・機能の確認ができない
(11)近距離監視が困難(残響の影響)

表2 残存リスクの回避方法

リスク No.	回避方法
(1)	複数の周波数を利用する
(2)	(1)に同じ
(3)	センサーに対する要求事項として、使用条件を緩和すれば回避可能
(4)	(3)に同じ
(5)	(3)に同じ
(6)	(1)に同じ
(7)	(3)に同じ
(8)	(3)に同じ
(9)	(3)に同じ
(10)	特に、人検出機能により人体保護を行う場合は、国際規格上から人検出保護装置には直接機能確認が求められるため、国際規格案 ISO138498(制御システムの安全関連部：第一部)における高カテゴリー化が必須条件となる
(11)	(3)に同じ

しかしながら(10)項に関しては、センサーの利用されるエリアなどには無関係に要求される機能である。レーダー型センサーである超音波センサーにおいて、その機能確認手段は、「センサーが所定距離(範囲)の被検知物体を所定の応答時間内に検知できること」という条件より、所定距離(範囲)を監視できているかどうか、送信が所定時間間隔で行われ、なおかつ、受信波があった場合においては、所定時間内に検出信号を出力できることが必須となる。さらに、所定時間ごとに、疑似障害物(試験片=テストピース)からの反射波を確実に受信し、検出信号が出力されるかを試験する必要がある。

4.4 センサー出力のフェールセーフ化^④

障害物が存在する場合に、検出信号が TTL レベルの High(=5V)、存在しない場合に Low(0V)とするような構造は適切でない。センサーに供給される電源に異常

がある場合に、出力が常時 Low となり危険時(出力値 High)を検出できないからである(図 7 参照)。逆にした場合でも、リレーやトランジスタなどの故障で常時 High が出力される場合があるからである(図 8 参照)。

そこで、障害物が存在しない場合には交流信号を出力し、変成器(トランス)の 1 次側に入力する。1 次側に交流電流が入力されると、2 次側には誘導起電力によって電位が生じる。ここで 1 次側にグランドレベルあるいは Low もしくは High のような直流電流が流れる場合すなわち故障時には、誘導起電力は生じないため、2 次側の電位がグランドレベルとなる。これにより出力回路のフェールセーフ化が行える(図 9 参照)。但し P.C.は自己発振しないものとする(T は Transducer P.C.は Processing Circuit)。

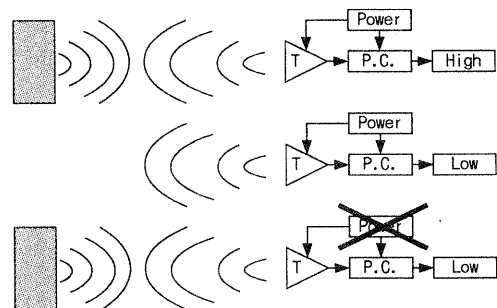


図7 電源喪失によるセンサー出力の異常

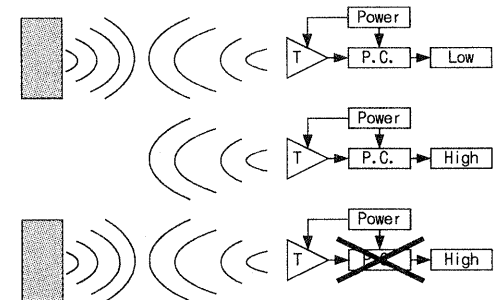


図8 処理回路異常によるセンサー出力の異常

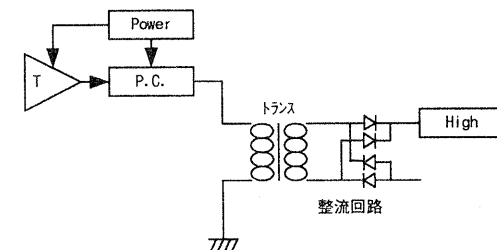


図9 交流信号を用いたフェールセーフ化の例

5. 路面検出型障害物センサー

ここでは、図 5(C)の構成を拡張し、障害物が存在し

ないとき所定の受信位置でエネルギーが受信されるような構成に基づく、路面検出型障害物センサーの基本構成を示す。

5.1 路面検出方式

ここで路面とは、車両が走行できる範囲を意味する。例えば路面上にある決められた地点に向けてレーザー光を投射する。車両が走行する上で障害となる物体が存在する場合、投影されるはずのレーザー輝点が幾何学的にズレて CCD 面上に投影される。すなわち、常に路面をリフレクターとして反射レーザー光を監視し、その幾何学的なズレによって障害物の有無を検出する。これにより、反射エネルギーの有無を障害物の有無とするのではなく、常時存在する反射エネルギーの差異、ここでは幾何学的なズレが生ずることを利用する。このとき、路面上にレーザーを反射しない物体(暗黒物体・透明物体)が存在する場合、反射レーザー消失する。この場合常時存在するべき反射エネルギーが消失していることから、やはり警報を情報として出力できる。

すなわち路面検出型障害物センサーは、路面に対してレーザーをスキャンし、その輝線をもとに路面上の障害物の距離・方位を計測する。

5.2 光切断法による機能確認

5.2.1 光切断法とは

光切断法とはレーザーなどの光ビームを平面に投影すると、その輝線は直線となるが、そこに物体が存在すると、物体が光ビームを遮断(切断)することによって、輝線が直線とはならず幾何学的なズレを生じることを利用して、距離を求める 3 次元測距方式の一つである。直線状の光ビーム(スリット光)は、従来シリンドリカルレンズ、スリットマスク、ポリゴンミラーなどを使用して生成させていた⁶⁾。今回我々は、SMOS を利用してレーザーをスキャンし、スリット光を生成した。

5.2.2 測距の方法

光切断法による測距方法を以下に示す。

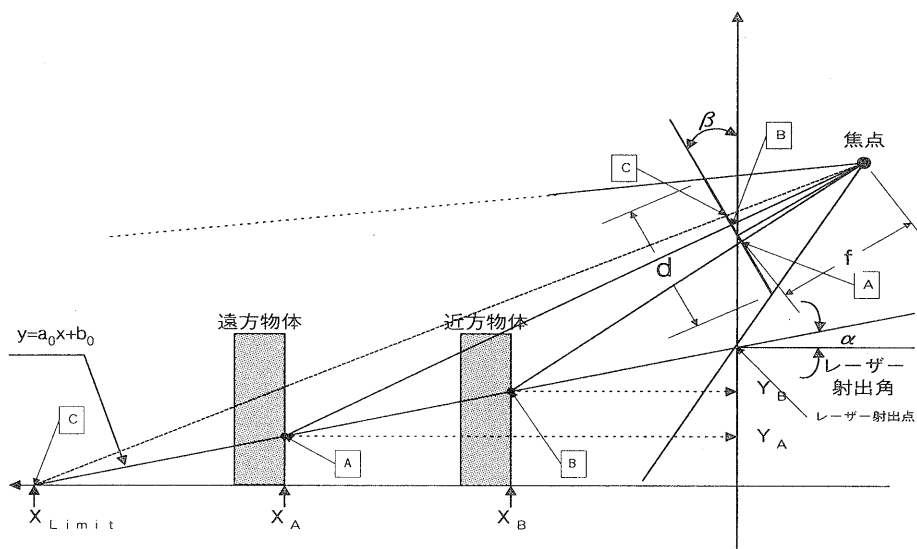


図 10 光切断法による測距(1)

図 10 においてレーザーを高さ y_0 から俯角 α で射出すると、レーザー光線が示す直線を式①とする。

$$y = -y_0/x_{Limit} + y_0 \quad \dots \dots \textcircled{1}$$

$$\therefore X_{Limit} = y_0 / \tan \alpha$$

路面上に物体が存在しない場合、レーザービームは、距離 X_{Limit} の位置に照射される。そのとき高さ y_1 にあり俯角 β にて設置されている CCD 画面(図 11)上では、C 点に映る。また、遠方物体が存在する場合は、これを再び CCD 画面(図 11)上でみると、A 点に映る。さらに近

方物体が存在する場合は、距離 X_B 高さ Y_B の位置に照射される。これは、CCD 画面上(図 11)上では B 点に映る。

このように、CCD カメラから、レーザー輝点を観測すると、図 11 のようにレーザー輝点の距離の差が、CCD 画像上では縦(y 軸)方向の差となって表れる。これより、レーザー輝点座標を画像メモリ上より求め、レンズの仮想焦点とを結ぶ直線の式②及び③と連立させる(図 12)。ここで、 y_1 は CCD カメラ(仮想平面)中央の高さ、 f は CCD カメラレンズの焦点距離、 d は、CCD カメラの垂直長を示す。遠方物体 A 及び近方物体 B 上の輝点の座標 (X_A, Y_A) 及び (X_B, Y_B) が導出される。方位角については、レーザーと CCD が同軸上にあれば、レーザー

の射出方位が輝点の方位となる。

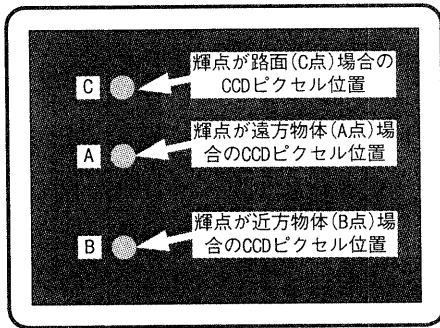


図 11 画像上のピクセル位置のずれ

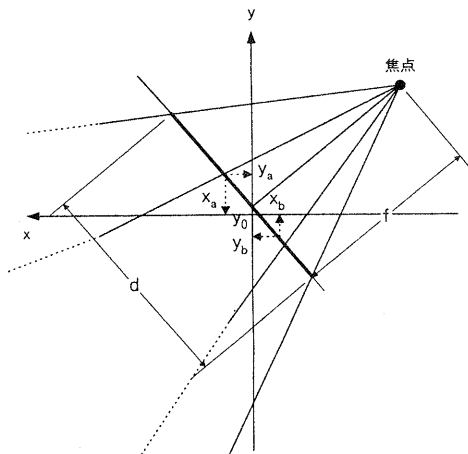


図 12 光切断法による測距(2)

5.3 実験

屋内において幾何学的な実験を行ったので報告する。可視光レーザー(630nm,35mW,CW)をレーザースキャナーで走査し、レーザー輝線を CCD カメラにて撮影する。レーザー輝線が路面上に何も存在しない状況(平常時路面状態)から、どの程度のズレが存在するかを求め、ズレの大きさから方位・距離が求められる。そのときの画像を下記に示す。図 13 は平常時路面状態である。今回は反射光がよく見えるようにコルクシートを敷いてある。図 14 は路面上に障害物が存在する場合である。図 13 で 8 本の均等にスキャンされたレーザー輝線が、図 14 では障害物によって切断されているのが分かる。これにより、障害物の存在を判定できる。もっとも手前の障害物が、手前 7 本のレーザー光を遮っているため、その背後の路面にはレーザー光が照射されていない。しかし、さらに後方に障害物があるが、最奥のレーザー光のみが物体に照射し、手前にずれてみえることが分かる。右手中間の障害物についても同様である。

実際の処理としては、レーザーを発光している情景

$$\begin{cases} x_a = (d_2 - d/2) \sin \beta \\ y_a = (d_2 - d/2) \cos \beta + y_1 \end{cases}$$

$$\therefore a_a = (y_a - y_2) / (x_a - x_2)$$

$$b_a = y_a - a_a \cdot x_a$$

$$\therefore y = a_a \cdot x + b_a \quad \dots \dots \textcircled{2}$$

$$\begin{cases} x_b = -(d_2 - d/2) \sin \beta \\ y_b = y_1 - (d/2 - d_2) \cos \beta \end{cases}$$

$$\therefore a_b = (y_b - y_2) / (x_b - x_2)$$

$$b_b = y_b - a_b \cdot x_b$$

$$\therefore y = a_b \cdot x + b_b \quad \dots \dots \textcircled{3}$$

$$\therefore x_2, y_2 \text{ は焦点の座標}$$

$$\begin{cases} x_2 = f \cdot \sin(90 - \beta) \\ y_2 = f \cdot \cos(90 - \beta) + y_1 \end{cases}$$

と、停止している情景とを CCD カメラで撮影し、画像処理ボードに取り込む。画像処理ボードに取り込まれた両者画像間の差分画像を 2 値化することによって、レーザー輝線のみが抽出できる。この 2 値化画像から路面上に障害物がない場合に想定されるレーザー輝線と障害物が存在する場合のレーザー輝線のズレを幾何学的に計算することによって、障害物の存在位置を導出できる。

レーザー輝線が想定される範囲で抽出できない場合は、レーザーが監視エリアをスキャンしていない、もしくは、カメラの死角に障害物が存在する。などの事由が考えられ、この場合も危険と判断できる。

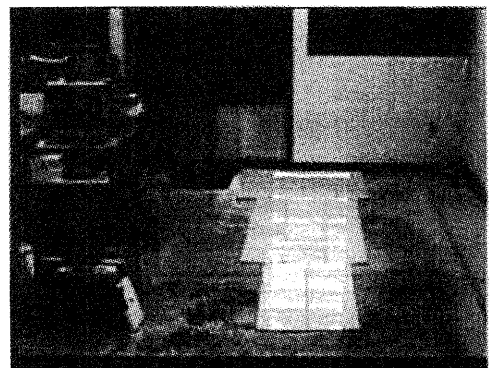


図 13 平面にレーザー光を投射した場合

図 15 ではレーザー波長のフィルターを外した画像を示す。波長フィルターにより背景光を除去している(輝

度を一定としているので実際の照度は異なる)。また、多重反射光は偏光フィルターを利用することによって、大部分が除去される。

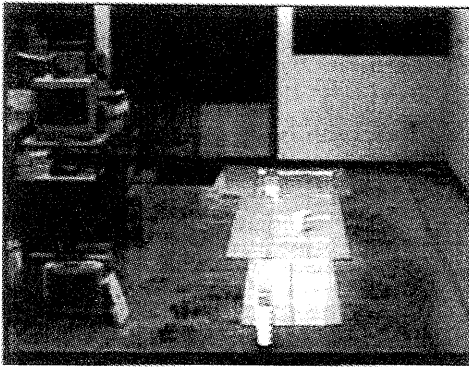


図 14 障害物が存在する場合

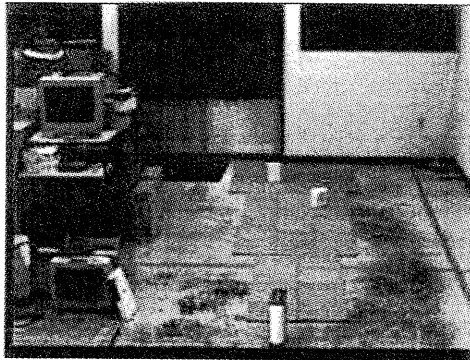


図 15 フィルター無しの画像

6. 今後の課題とまとめ

現在、屋内において可視光レーザー及び可視光エリア CCD を用いた幾何学実験を行っている。自動車などは概して屋外を走行するため、太陽光が過大な背景雑音となる。また、路面はほぼ全面アスファルトであるため、アスファルトの反射率から満足する反射レベルを得られるような工夫が必要である。

また、NTSC 方式の規格の制限から毎秒 30 フレームしか画像を取り込めないため、一度に 8 本のレーザーラインを撮影している。ズレを計算する場合にそのレーザー輝線が何本目のものかを確定して処理する必要があるが、撮影画像から輝線が 8 本全部を認識できなければ、ラベリング処理を行うことができない。

一般にこの方法ではレーザー輝線の確定ができないため、高精度でリアルタイムな処理は不可能である。

したがって、NTSC フォーマットによる画像取り込みではなく、毎秒 60 フレームもしくは、120 フレームというプログレッシブスキャンあるいは倍速スキャンといわれるデジタルカメラシステムを利用する手段がある。

また、画像処理を行う場合、CPU もしくは DPS による計算が必要になる。ソフトウェアによる処理はソフトウェアに含まれるバグなどが問題となる。IEC61508 では、ソフトウェアに関する安全性を規定している。今後は、これらの規格に準拠するような画像処理方法の検討も必要と考えられる。

本稿で検討した光切断法は三角測量の一種であるため、レーダー方式のように距離レンジの遠い測距を高精度で行うことは不得意とする。しかし、レーザースキャナーの走査角あるいはカメラの画角が許す限り広角の測距が可能である。このため、この方式は自転車近傍を広範囲に監視できるセンサーに有効であると考えられる。

車載用障害物センサーシステムは今後、ITS の普及により一般道・一般車両にもその利用が広がるであろう。しかしながらレーザーを利用した方法(光切断法)は、ミリ波に比べると雨・霧などの気象条件に弱いとされている。よりバイタルなシステム構成あるいは、センサフュージョンの立場からもミリ波を利用したシステムの検討も必要であると考えられる。

参考文献

- (1) 例えば谷腰：日刊工業新聞社 超音波とその使い方
- (2) 例えば日経エレクトロニクス No737 P47-53(1999-2)
- (3) 例えば谷口：共立出版 画像処理工学
- (4) 例えば井口、佐藤：昭晃堂 三次元画像計測
- (5) N. Asada et al : "Silicon Micro Machined Two - Dimensional Galvano Optical Scanner", IEEE Trans. On Magnetics, Vol. 30, No.6 (1994)
- (6) N. Asada et al : "Two - Dimensional Silicon Micro Optical Scanner", Proc. of MIMR'95, Sendai, p626(1995)
- (7) 池本、清水、寺島、浅田：シリコンマイクロ光学スキャナを用いた小型レーザーディスプレイ, 電気学会, マグネティクス研究会(1998)
- (8) 蓬原、向殿：超音波パルスレーダーによるフェイルセーフな障害物検出, TIEE Japan, Vol.110-D, No.3, (1990)
- (9) 蓬原、杉本、向殿：安全制御のためのセンサー構成, 第一回ロボットセンサシンポジウム, (1988)
- (10) 白井、浅田、大西：日本機械学会第 7 回交通・物流部門大会講演論文集(1998-12)