

半導体レーザを用いた画像膨張による進入検出センサ

The Approach Sensor by Image Dilation using Semiconductor Laser

田中 徹[†] , 津田 紀生^{††} , 山田 諄^{††}

Tohru TANAKA , Norio TSUDA , Jun YAMADA

Abstract Since the conclusion of Kyoto Protocol, the necessity for rationalization of energy use has been increased. Therefore, it is advisable that an escalator is controlled to pause during no user. Now a photo-electric sensor is used for escalator control, but a pole to install the sensor is needed. Then, a new type of approach sensor using the semiconductor laser and the CCD camera has been studied. The laser beam which focused perpendicularly by the cylindrical lens is irradiated at a target in only the field I of the interlace video signal, and is observed by a CCD camera. The irradiation area of laser beam is obtained by subtracting field II from field I. If the area is increasing in time, it will be judged that the target is approaching. Moreover, the error decreases by using a visible-light cut filter, and it is found that application for an approach sensor mountable into escalator is possible.

1. はじめに

1997年に採択された京都議定書によるCO₂の排出量規制に伴い、電力の大部分を化石燃料による発電で賄っている日本では、その関心のほとんどが省エネルギーとなっている。海外でも燃料や電力の使用量に応じて企業に課税する気候変動税を導入すると言った措置がとられているなど、近年、省電力・省エネルギーへの関心と共に、その必要性もまた高まって来ている。

1999年に改正された省エネ法によって、企業は経済産業省令の判断基準に沿ったエネルギー合理化を行う義務や、定期報告の提出義務が課せられ、合理化の実状が判断基準に照らして著しく不十分な場合、合理化計画作成指示・公表・命令・罰則(罰金)と言った措置がとられる事となっている。現在は空調・照明設備において合理化を行う事ができるが、近い将来、様々な設備において徹底した合理化が義務付けられる可能性があると考えられる。そこで、エネルギー使用の合理化の目標及び計画的に取り組むべき措置の一つである「エスカレータ設備等の昇降設備は、人感センサ等によって、利用状況に応じた効率的な運転を行うことを検討する事」に着目した。

現在、エスカレータの制御用に用いられているセンサとして、光電スイッチによるセンサ¹⁾が挙げられるが、これは、センサ自体は小型であるものの、搭載するポー

ルを必要とするため、その設置場所が必要となり、通行の邪魔になるので、様々な方向に人が行き来する様な場所での使用には不向きであると考えられる。実際に、このセンサを用いているエスカレータは、駅構内の、特に壁側にしか見る事ができず、多用途への応用は難しいと考えられる。

設置場所の小さなセンサとして、超音波センサ²⁾や焦電センサ³⁾が挙げられるが、これらのセンサは、領域内の対象の有無を検出するセンサに過ぎず、センサの前を横切る対象や、領域内に留まり続ける対象に対しても反応を返してしまう。超音波センサは騒音により誤動作を、焦電センサは気温の変化により誤動作を起こす恐れがある等の欠点があり、また、設置場所は取らないものの、取り付けられる壁や天井を必要とするため、やはり、自動ドアや照明装置以外への応用は難しいと考えられる。

そこで、CCDカメラと半導体レーザを用いる事で対象抽出の為の前処理を容易にし、画像膨張を用いて判定を行う事によって、省スペースでエスカレータ等の設備に組み込む事のできる様な進入検出に特化したセンサを試作し、研究を行った。

2. 映像信号

2.1 インターレース走査

インターレース走査とは、主に日本やアメリカでカラーテレビ放送に採用されている走査方式である。たとえば、現行のNTSC(National Television System Committee:米国テレビ放送方式標準化委員会)方式を例として見ると、動作は図1の様になる。

† 愛知工業大学大学院 工学研究科
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)

NTSC 方式では、一秒間の動画を 30 フレームで描画し、それぞれ 1 フレームは 2 つのフィールドからなっている。1 フレームの画像は、525 本の走査線で構成されているため、1 フィールドの走査線数は 262.5 本となる。まず、最初のフィールド I で、画面の左上から 1 本おきに走査し、最下段となる 263 本目の走査線の半分の時点で強制的に垂直方向に掃引する。そうする事で、フィールド II は最上段の半分から始める事になり、フィールド I で飛び越した残りを 1 本おきに下まで走査する事となる。これで 1 フレームとなる 4)。

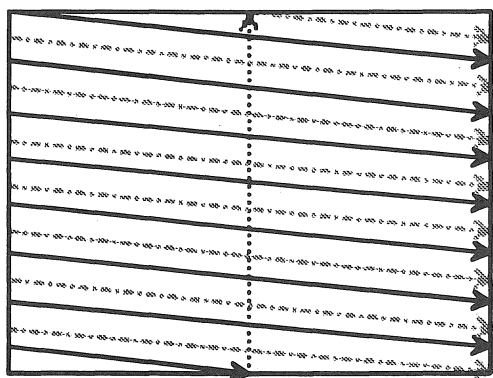


図 1 インターレース走査

2.2 NTSC 基準信号

このような飛び越し走査を実現している映像信号が、NTSC 基準信号(複合映像信号)である。インターレース方式の映像信号は、水平・垂直の二つの同期信号を複合して、コンポジット同期信号として扱う。

図 2 に NTSC 基準の複合映像信号の代表的な波形と、フィールド I・II の垂直同期期間を拡大した波形を示す。

コンポジット同期信号では、水平同期信号に垂直同期信号を単純に加算したのでは受け側の分離精度が期待できないため、垂直同期信号部分では前後に等価パルス期間を設ける様な加工がなされている。

垂直同期信号期間は各々の期間が 3 ライン分(1 ライン = 1 H は水平同期信号の一周分)ずつあり、等価パルス期間と垂直同期期間の組み合わせで合計 9H 分が各フィールドにある。

図 2 に示される様に、インターレース走査を行っている場合、フィールド I とフィールド II では信号に多少の違いがある事が判る。インターレース走査では、フィールド I の走査線の間フィールド II の走査線をうまく割り込ませる必要があるため、フィールド II の垂直同期信号期間がフィールド I より、1/2H だけずらして挿入されている。これにより、垂直方向への走査タイミングがずれて、インターレース走査の動作となる。

また、垂直同期期間では、本来の垂直同期信号部分の

3H 分の等価パルス期間と、垂直同期パルス期間にセレクションと呼ばれる切り込みパルスがある。これらのパルスは共に 1/2H のタイミングで入っており、インターレース走査の安定化とコンポジット同期信号からの水平・垂直各同期信号の分離を容易にする目的がある 4)。

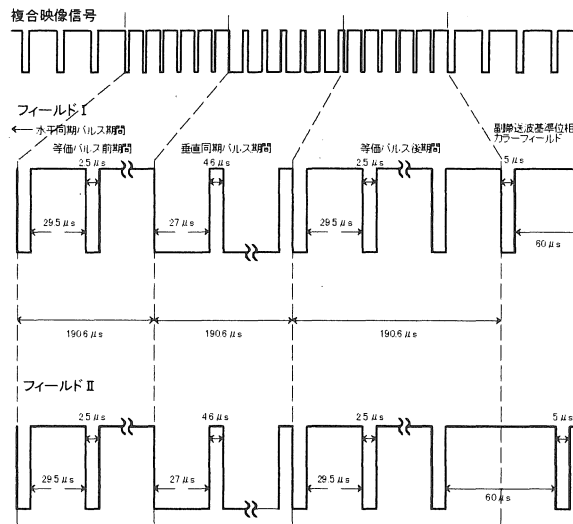


図 2 NTSC 基準信号

3.測定原理

3.1 ターゲットの抽出

画像膨張による進入検出のために、取り込んだ画像データからターゲットを抽出する方法を示す。インターレース方式の映像信号では、フィールド I とフィールド II では信号に多少の違いがある事は既に述べた。この 1/2H の違いを見出す事で、フィールド I・II の判断をすることができる様になると考えられる。説明のため、フィールド I・II から取り出したラインを、それぞれ集めて再配置しておくものとする。

LD 発振回路を用いて、選択した側のフィールド撮影時のみレーザがパルス発振する様にし、その様子をカメラで撮影する。すると、図 3 に示す様に、取得した画像データでは、選択した側のフィールド(図ではフィールド I)の側のみターゲットに照射したレーザ光が映る事となる。この時、照射したレーザ光が走査線方向に平行であると、レーザ照射面が偶数番目のライン上にあった場合、フィールドを分割する際に間引かれてしまう恐れがある。そのため、カメラを 90 度回転させて設置し、撮影を行っている。

このような画像データを基に、フィールド I からフィールド II を減算する事で、ターゲットに照射したレーザ光部分のみを取り出す事ができ、この照射面積を、ピクセル数を数える事で値として求める。この様にして、映像

信号処理における輪郭検出・グループ化と言った前処理が一切不要となり、ターゲットの抽出を容易に行う事が出来ると言うのが本センサの第一の特徴である。

3.2 画像膨張

図4に示す様に、撮影される画像は、カメラのレンズを用いた縮小光学系であるので、同じターゲットであっても近くなれば大きく、遠くなれば小さく写る。同様に、レーザー光の照射面積もまた、近くなれば大きく、遠くなれば小さく写る事となる。

レーザー光照射面積の変化を時間的に比較し、増加しているならば「進入」、減少しているならば「退出」として、ターゲットの移動方向を判断し、進入検出を行うのが本センサの第二の特徴である。

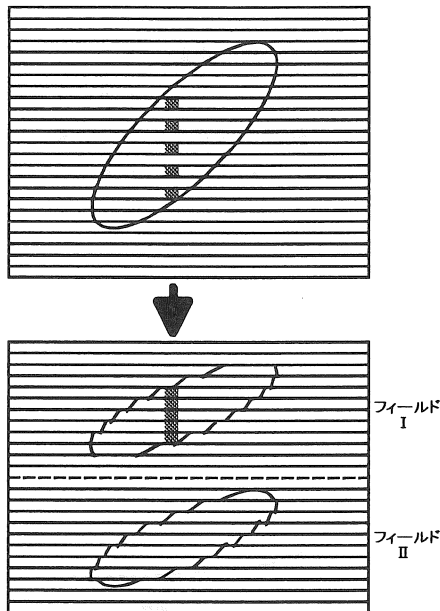


図3 ターゲットの抽出

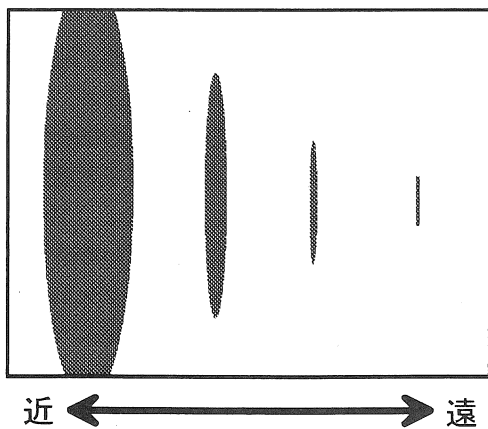


図4 画像膨張

4. 測定システム

画像膨張による進入検出センサの測定システムは、図5に示す様に、センサ部、LD 駆動回路、処理・演算部からなっている。

シリンドリカルレンズによって垂直方向に鋭く集光したレーザー光をターゲットに照射し、その様子を CCD カメラで撮影する。そうして得られる映像信号を処理・演算部に送り、進入を検出する。一方、映像信号は LD 駆動回路にも送られ、ここでフィールド I・IIを判断し、平均出力が1mW以下となる様に1ms幅でパルス発振させたレーザーを、CCD カメラの電子シャッタに同期させて照射する様に制御する。また、受光部には、誤差を減少させるために可視光カットフィルタを装着するスペースを設けてある。

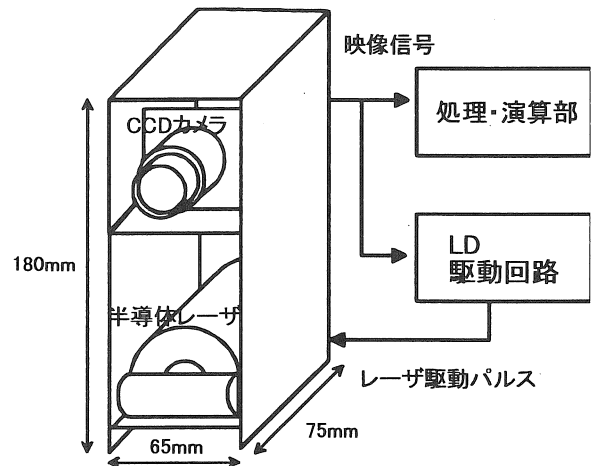


図5 測定システム

4.1 センサ部

投光部として、発振波長 780nm、定格出力 20mW、広がり角 23.6° のシャープ株式会社製の LD、LTO24MDO を用いた。レーザーを 1ms のパルスで、カメラの電子シャッタに同期して発振させ、それを前方に設置したシリンドリカルレンズを用いて垂直方向に鋭く集光し、ターゲットに照射する。

シリンドリカルレンズは、大きさ 25mm×12mm、焦点距離が 12.7mm のものを用いた。レンズの公式から、レーザーの集光距離を 3m と定め、LD - シリンドリカルレンズ間は約 12.8mm とした。

受光部には、日立電子株式会社製のインターレース撮像方式白黒 CCD カメラモジュール BE-201B を用いている。画角は 36 度であり、シャッタ速度は 1ms とした。

可視光カットフィルタには、東芝化成工業株式会社製の色ガラスフィルタを用いており、これは波長 690nm 以下の光をカットする特性を持っている。

センサ部をコンパクトにするため、投光部と受光部を一つのボックスに収めている。地上から LD までの高さ

が約 2cm、LD から CCD カメラまでの高さが 12cm となっている。

4.2 回路部

回路部は、同期分離回路、パルス発生回路、LD 駆動回路からなっている。

同期分離回路には LM1881 を用いている。LM1881 の特徴的な動作として、フィールド分離信号の出力が挙げられる。この信号は、垂直同期信号のトグル動作波形でありながら、フィールド I 時には常に H、フィールド II 時には常に L を出力するものである。この信号を利用する事で、簡単にフィールド判別レーザ発振が実現できる。ただし、何れのフィールド時に発振を行うかを後から選択することはできず、回路設計時の配線によって決定しておかなければならない。

パルス発生回路は 4538B (単安定マルチバイブレータ) を用いている。ここでは、レーザ発振のためのパルスを作っている。本回路ではこの IC によって、発振するフィールドを決定することができる。前段の LM1881 からの信号をきっかけに、立ち下がりで遅延パルスを作ればフィールド I、立ち上がりならばフィールド II での発振となる。そうしてできた遅延パルス幅を、次フィールドのシャッタ位置までに設定する。遅延パルスの立下りをきっかけに LD 発振パルスを作る。パルス幅は 1ms 程度に設定し、カメラの電子シャッタが開いている状態 (垂直同期信号の立下りの前 1ms) でのみレーザを発振させる様にしている。

LD 駆動回路には IR3C02 (M タイプ半導体レーザ用駆動回路) を用いている。LD の光出力は、周囲温度の変動で容易に変化する。温度が変化しても一定光出力が得られる様に、モニタ光を内蔵のフォトダイオード(以下、PD)で検出して駆動電流にフィードバックする APC (Automatic Power Control) 機能を駆動回路に持たせてある。この回路はサージが入るのを防ぐスロースタータになっており、パワー設定後は電源の ON/OFF によって LD を ON/OFF できる様になる。

4.3 処理・演算部

処理・演算部として、パソコンと、NEC 社製のモノクロビデオ入出力ボード AZI - 5503 を使用している。ビデオボードによってパソコン内に画像データを取り込み、C 言語で作成した検出プログラムを用いて、オフラインで測定を行った。

進入検出プログラムを開始すると、しきい値の設定を求めてくる。20 ループの試行の中で、§ 3.1 で述べた方法でレーザ光照射面積を求め、それを一回前の結果と比較し、設定したしきい値以上のピクセルの増加があった

場合、進入と判断し、反応を返してくる様になっている。ここでやっている方法では、2 ラインずつ一組にして比較 (a-b、c-d、…) を行っており、その組同士の間のデータは失われている事になる

現在、FPGA によるハードウェア設計を進めており、今後オンラインでの測定を予定している。

5. 測定結果及び検討

5.1 距離 - 照射面積特性

領域内の任意の距離にターゲットを設置し、レーザ光を照射した時に得られる照射面積をピクセル数によって求めた結果を図 6 に示す。ターゲットは幅 9cm の箱に茶色の色紙を貼ったものであり、高さは照射レーザ光幅よりも十分に大きな物である。

検出領域をレーザの焦点距離である 3m と設定し、その点から線形に変化している部分を通過する様に接線を引き、傾きから分解能を求める。その結果、1cm の進入が 1 ピクセルの増加に相当している事が判った。

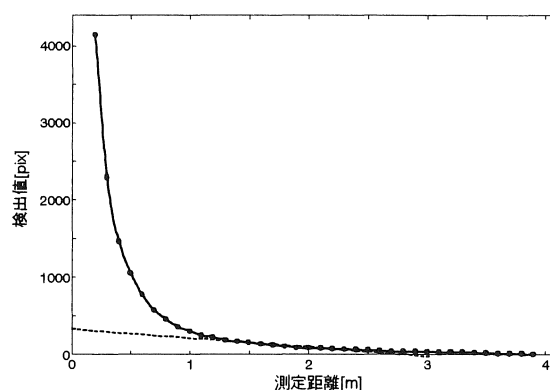


図 6 距離 - 照射面積特性

5.2 ばらつき誤差

先程と同様なターゲットを 1m、2m、3m 地点に固定し、その時検出されるレーザ光照射面積をピクセル数で求めた。各 20 回の試行で、平均値からのばらつきがどの程度であるかを調べる。図 7 はその結果を示すグラフである。

この結果から、ターゲットが静止している時のばらつきは平均で 5~10 程度、最大でも 15 ピクセル程度である事がわかる。よって、20 ピクセル=20cm 以上の変化があればターゲットが進入していると判断する事ができる。つまり、分解能は 20cm であると言える。

現在、1/30 秒でのオンライン計測を予定している。分解能が 20cm という事は検出し得る進入体の速度は、秒速 600 cm、すなわち時速 21.6km となる。人間の歩行速

度の平均が時速 4km である事を考えると、歩行者の進入を検出するには速過ぎであると言える。よって、サンプリングレートや装置の形状等を改良し、検出速度を歩行者用に最適化してやる必要がある。

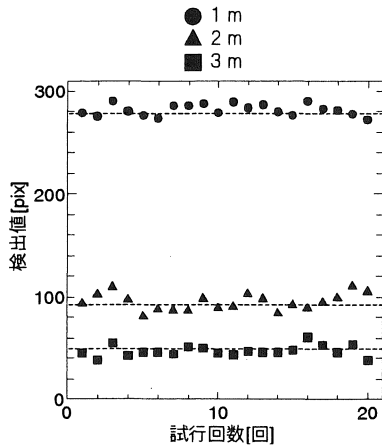


図7 ばらつき特性

そこで、サンプリングレートを落とす事を考える。どの程度の時間間隔であれば、実用的な速度に対する応答が得られ、かつ誤動作を少なくできるであろうか。

街頭でランダムに対象を決め、10歩歩くのに要する時間を測定した。そこから、1歩を踏み出すのに要する平均の時間を求めれば、どの程度の時間間隔であれば人間の歩行を捕らえられるかを知る事ができると考えられる。その結果、1歩を踏み出すのに要する時間は0.56秒である事が判った。つまり、1/2秒程度のサンプリングレートで処理を行えばよい事になる。この結果から、検出し得る進入体の最低速度は秒速40cm、時速1.44kmとなる。これならば分解能を30~50cmに設定しても、十分に歩行速度に対応でき、誤動作をより少なくする事ができると考えられる。この結果は極端な例ではあるが、ばらつきから求められる値よりも10~20cm程度分解能を大きく取る事で、誤動作を減少させる事ができるという結果であると言える。

5.3 進入検出

§5.2の結果より、距離分解能を30cmとし、ターゲットの行動に対しセンサがどのような反応を返すかを測定した。ここではプログラムに一部手を加え、キーボードからのキー入力毎に画像を取り込み、前フレームと比較を行う様にして、コマ撮りで測定を行った。

測定の結果を表1に示す。表内左から、行動を開始する距離、行動の内容、センサ反応となっている。

表1 進入検出

分解能設定 30		
距離	行動	センサ反応
3m	測定開始	-----
3m	対象の出現	x
3m	静止	x
3m	30cm進入	x
2.7m	20cm進入	x
2.5m	50cm退出	x
3m	50cm進入	x
2.5m	50cm進入	○
2m	静止	x
2m	エリア外脱出	x
2m	対象の出現	○
2m	50cm進入	○
1.5m	30cm進入	○
1.2m	20cm進入	○
1m	静止	x
1m	エリア外脱出	x
1m	対象の出現	○
1m	10cm進入	○
0.9m	10cm進入	○
0.8m	20cm退出	x
1m	50cm退出	x
1.5m	エリア外脱出	x

表に示される様に、3m付近では設定程度の進入に対してもセンサは反応しておらず、2.5m付近から近い所でセンサが正しく反応している事が判る。

これは、§5.1で述べた様に、3m点から引いた接線から進入距離と増加分の関係を求めたためであると考えられる。図6に示されている様に、2.5m~3m付近では、実際の変化量の傾きが接線よりも浅くなっている事が判る。つまり、この付近では設定値である30ピクセルの増加のために、30cmよりも大きな距離の進入が必要であると言う事である。また同様に、カメラに近い所では、実際の傾きが接線に対して非常に大きくなっており、この地点では設定よりも少ない進入距離でも大きな増加量になる事が判る。

詳細な測定の結果、2m地点からの30cmの進入で、丁度30ピクセルの増加が確認された。これによって、2mより遠い所では設定よりもやや大きな進入で、近い所ではより小さな進入であってもセンサが反応すると考えられ、事実、測定結果でもその様な関係が得られている事が判る。

しかし、1歩の距離が実際には30cmよりも大きいと考えられる事から、この程度の設定であれば、検出可能域2.5mとしての使用が可能であると言える。

5.4 可視光カットフィルタ

一般に室内照明は蛍光灯による物であると考えられる。蛍光灯は管内で交流周波数に応じて放電を繰り返しているため、1/60秒間隔で画像を取り込むCCDカメラでは、何らかの影響が出ると考えられる。そこで、測定領域と

なる床に蛍光灯が映る様に、反射板として、アルミホイルを巻きつけたダンボールを敷き詰め、測定を行う。それによって、蛍光灯照明がセンサに及ぼす影響が判ると考えられる。

§5.2 で行ったばらつき測定と同様のターゲットを用い、1m、2m、3m 地点に設置し、20 回の試行で得られる検出レーザ照射面積を測定する。その測定結果を図 8 に示す。

図 7 に比べ、検出値が全体に大きくなっているのは、ターゲットに当たって散乱したレーザ光の一部が床に反射し、戻り光が多くなっているためである。

床の反射板に映る蛍光灯が 1/60 秒間隔で明滅しているため、その影響によって、何れの距離でも非常に大きなばらつきが見られ、検出値の近い 2m 地点と 3m 地点では見分けがつかなくなっている事がわかる。これでは正しい進入検出結果が得られないと考えられる。

そこで、この様な蛍光灯照明による影響を極力減少させるため、CCD カメラに可視光カットフィルタを装着する事を提案する。可視光カットフィルタを用いる事で、波長 690nm 以下の光を遮断し、レーザ光の照射面のみがカメラに映る様になり、より正確な測定ができると考えられる。また、可視光カットフィルタによって、CCD カメラへの戻り光量が減少する事も考えられるため、様々な条件下で測定を行い、その影響を検証する。比較のため、その測定結果を重ねて示している。

結果より、可視光カットフィルタを用いる事でばらつきは格段に減少し、2m、3m 地点の見分けもつく様になり、距離に対する検出値の関係が正しく現れている事が判る。

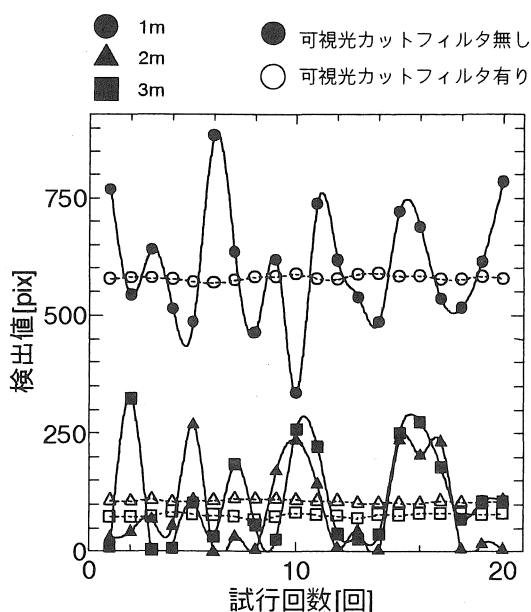


図 8 ばらつき誤差(可視光カット)

5.5 可視光カットフィルタを用いた進入検出

戻り光量が減少する事で、結果にどのような影響があるかを調べるため、可視光カットフィルタを装着した状態で、距離に対するレーザ光照射面積の関係を調べ、センサの分解能を求める。§5.1 での測定と同様に 3m 地点から接線を引き、傾きから分解能を求める。結果、可視光カットフィルタを用いていない時に比べ、1cm の進入に対し、0.8 ピクセルしか増加しない事が判った。しかし、§5.4 で述べた様に、ばらつき自身が減少しているため、結果的には分解能には影響がないものと考えられる。

反射板を敷き詰めた場合は、全体の戻り光量が多くなっているため、影響はほとんどなく、1cm の進入に対し 1.3 ピクセルの増加を示した。

可視光カットフィルタを装着した状態で、§5.3 で行ったのと同様の測定を行った。可視光カットフィルタのみを用いた場合の結果は、可視光カットフィルタを用いていない時のものと同じで、2.5m 以内であれば進入を検出する事ができた。これにより、可視光カットフィルタを用いる事による影響はなく、十分な結果が得られたと考えられる。しかし、§5.3 で行ったのと同様に、2m 地点から、分解能として設定した 30cm 丁度の進入を試みたところ、反応を返す事はできなかった。よって、今回の測定には影響は見られなかったものの、進入距離あたりの検出値の増加数は減少しているため、若干、検出可能距離は短くなっているものと考えられる。

可視光カットフィルタと反射板を用いた場合、検出範囲が伸び、3m 付近で反応が現れた。しかし、3m 地点から分解能丁度の進入に対しては反応しなかったため、距離に対する増分は、それほど大きくないと言える。この結果は、反射率の非常に高い反射板を床に敷き詰めた、いわば極端な状況下であるので、床の反射による戻り光量が非常に大きくなり、一見、精度が向上している様にも見える。しかし、予期していない外乱による影響であると考えられるので、実際には、二値化の際のしきい値の最適化等によって、この「床からの戻り光の影響」も極力取り除く必要があると考えられる。

6. まとめ

CCD カメラと半導体レーザを組み合わせて用い、進入検出に特化したセンサを試作し、その特性を検証した。

画像膨張による進入検出は、画面のピクセル単位による変化を観測する事ができるので、分解能も実用で 10 ~ 数 10cm のものが得られた。また、可視光カットフィルタを併用する事で、結果に大きな影響を与えず、蛍光灯照明による外乱を取り除く事ができると判った。また、1 フレーム分の画像を 2 つの成分に分け、減算を行う事

でレーザ光の照射面のみを取り出せる様にし、ターゲットの抽出が容易となっているため、オンライン化・処理の高速化が、簡単に実現できるようになると考えられる。

以上により、CCD カメラと半導体レーザを組み合わせ、画像膨張による進入判定を行う事で、エスカレータに組み込む事の出来る小型の進入検出センサとして利用できる可能性を示す事ができた。

今後は、FPGA を用いたハードウェア設計によって測定をオンライン化し、より誤動作の少ない進入検出センサの開発を目指す。

参考文献

- 1) 宮尾亘：光センシング工学,pp87-93,日本理工出版会,1995
- 2) 丹羽登：超音波計測,pp179-182,昭晃堂,1982
- 3) 伊藤聡・村田充弘：光部品・製品活用事典,焦電型赤外線センサ,pp232-240,オプトロニクス社,1985
- 4) 松井俊也：トランジスタ技術スペシャル,ビデオ信号処理の徹底研究, pp4-14, CQ 出版, 1995

(受理 平成 16 年 3 月 19 日)