

高速移動物体上の符号検出*

押田 京一**・佐々木 勇***・永野 泰男****

Detection of Marks Printed on a Fast Moving Object

Kyouchi OSHIDA, Isamu SASAKI and Yasuo NAGANO

The marks, which indicate the standard, the year of production and others, printed on a cable are important parts of the product. So it is indispensable to check the marks. The producing speed of the cable comes up to 10m/sec. In order to practice economy and automation it is necessary to detect the marks printed on the fast moving cable.

In this study, we examined the characteristics of some opt-electronics devices and selected one of them. Using the selected device the marks printed on a fast moving object were detected.

1. ま え が き

被覆電線（以後ケーブルと呼ぶ）は表面に、規格、製造年などの符号が印刷されている。このような符号は製品の一部であり符号の印刷漏れ、欠け、かすれ、汚れなどがあると製品にはならない。ケーブルは製造工程の中で、被覆加工直後に印刷を行うため、印刷ミスをした場合再度印刷することができず、印刷の検査を実施しないと何 km にもおよぶ不良ケーブルを製造する危険性がある。ケーブルの製造速度は 10m/s にも達するが、現在ケーブルの検査は、ケーブルの巻取りを一時停止し、目視により行われている。製品検査の省力化、自動化を計るためには、高速に移動するケーブル表面の符号検出が必要である。

現在視覚として符号読み取りに使用されている CCD 等によるラインセンサや 2 次元イメージセンサは一画素ずつ逐次転送する走査型であり、高速で移動する小さな符号を検出するには速度が追従できない⁽¹⁾。本研究では高速化のため、符号の移動方向に対し複数の受光部を垂直に配置し、並列的に符号検出を行おうと試みた。このため、まず、いくつかの受光素子を用いて符号検出部を構成し、その特性を検討し受光素子の選定を行った。また、符号移動の実験装置を作成し、実際に高速で移動する符号の検出を行ったのでその結果を報告する。

2. 受光素子の検討

2-1 受光素子

受光素子はオプト・デバイスの中で光信号を電気信号に変換する光電変換素子であり、現

* 平成 2 年 10 月 電気関係学会東海支部連合大会で発表

** 電子情報工学科 助手

*** ㈱三葉製作所

**** 信州大学 名誉教授

在使用されているものにフォトダイオード、フォトトランジスタ、OPIC化受光素子（以後フォトICと呼ぶ）などがある⁽²⁾。フォトダイオードは受光面に光を照射すると起電力を発生し、両端に負荷をつなぎ閉ループを作れば照度に比例した定電流を流す性質がある。CCDラインセンサなどはフォトダイオードを直線上に並べ、光電変換した信号をCCDにより記憶・転送する方式のものである。フォトトランジスタは、原理的にはフォトダイオードと増幅用NPNトランジスタを組み合わせたもので、ダーリントン接続型のものもあり光感度が高い。また、フォトICはフォトダイオードと信号処理回路を、バイポーラIC製造工程により1チップ化した素子で、増幅回路とシュミット・トリガ回路を内蔵し、デジタル出力型の場合は直接デジタルICと接続可能であり、デジタル処理による符号判定などには便利であると思われる⁽³⁾。符号検出用受光素子として利用できそうなフォトダイオード（TPS708）、フォトトランジスタ（TPS607A）、フォトIC（TPS825）の3種類（いずれも東芝製）について特性測定を行った。

2-2 周波数特性

高速で移動する符号に対し受光素子の応答速度が追従できるか否かを調べる必要があるため、周波数特性の測定を行った。図1に受光素子の周波数特性の測定方法を示す。パルス発生器により可変周波数のパルスを発生し、この信号によりLEDを点滅させる。受光素子でLEDの光を受け、その出力波形をオシロスコープにより観測した。フォトダイオードは出力信号レベルが低いため、オペアンプにより出力を増幅し観測を行った。微小信号の検出には暗電流による雑音が問題となるので、暗電流を抑えるため、フォトダイオードにはバイアス電圧をかけていない。また、フォトダイオードは照度に対し定電流源として動作するので、十分な出力信号レベルを得るには、負荷抵抗を大きくすればよいが、負荷抵抗が大きすぎると照度に対し出力電流が飽和するため、負荷抵抗は100k Ω とした。フォトトランジスタは、負荷抵抗が大きくなると、応答速度が遅くなるため、負荷抵抗は10k Ω とした。

2-3 直流特性

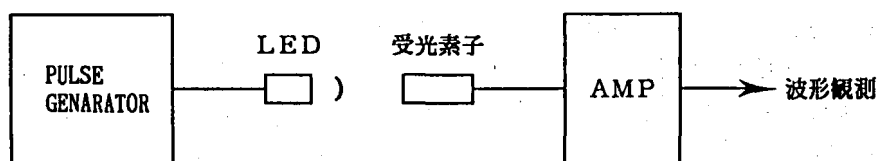


図1 受光素子の周波数特性測定方法

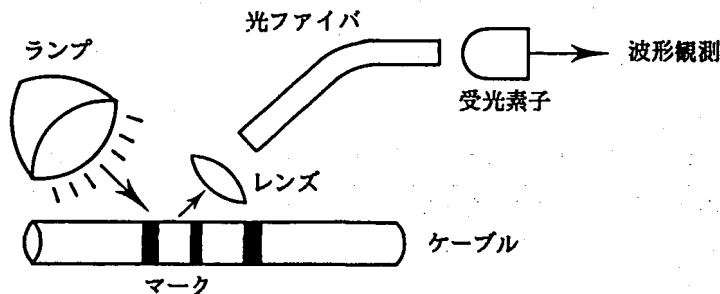
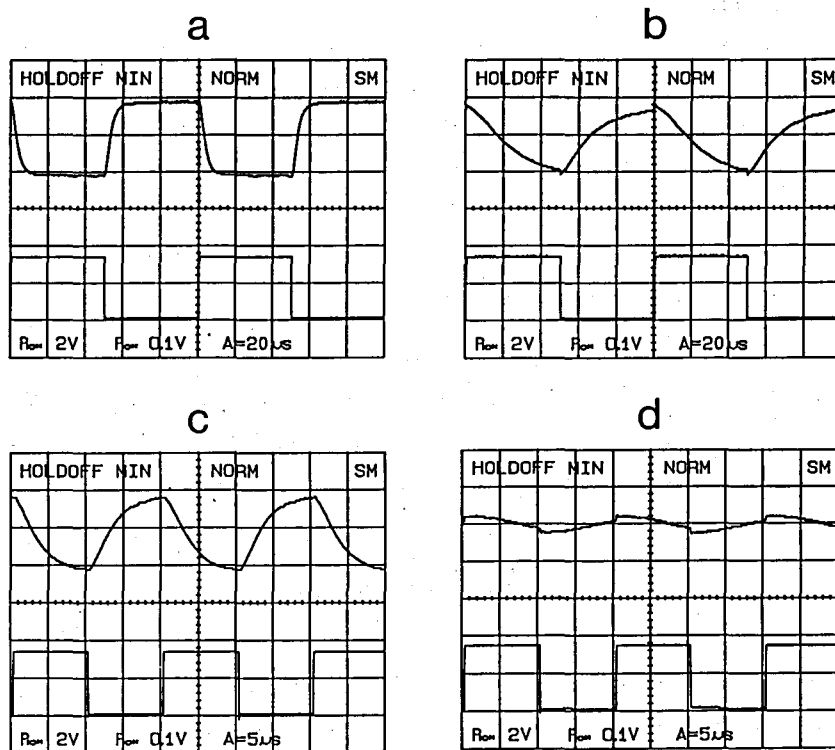


図2 直流特性測定方法

ケーブル上の符号の有る無しに対し、検出可能な受光素子の出力変化が得られるのか直流特性の測定を行った。図2に受光素子の直流特性の測定方法を示す。ケーブルに黒いマークをつけ、ランプにより照明を行い、レンズにより集光する。集光した光信号を直径0.75mmの光ファイバにより伝達し、受光素子で光を受け、その出力を観測した。ケーブルは長さ方向に可動であり、ケーブルを動かすことによりマークの位置が変わる。マークの有る無しで明るさが変わるので、これにより照度変化を発生し観測を行った。

2-4 測定結果

図3にフォトダイオードおよびフォトトランジスタの周波数特性の比較を示す。a, cはそれぞれフォトダイオードの10kHz, 50kHzにおける出力波形であり、b, dはそれぞれフォトトランジスタの10kHz, 50kHzにおける出力波形である。入力波形はLEDの駆動信号を示した。出力は反転増幅しているため、反転出力となっている。この結果をみるとa, cよりフォトダイオードは10kHz, 50kHzの周波数に応答しており、b, dより、フォトトランジスタは10kHzまではなんとか応答できるが、50kHzでは応答できないことがわかる。これよりフォトダイオードはフォトトランジスタに比べ、応答特性がよいことが理解できる。フォトICについても同様な測定を行ったが、応答特性は非常によかった。フォトダイオード、フォトトランジスタ、フォトICの応答最大周波数は、それぞれ100kHz, 10kHz, 250kHzであった。



下：入力波形，上：出力波形

a, c：フォトダイオード (10kHz, 50kHz), b, d：フォトトランジスタ (10kHz, 50kHz)

図3 周波数特性

図4にフォトダイオードの直流特性を示す。マークの有る暗部とマークの無い明部とでは、雑音レベルに比べて明確に出力差が得られることがわかる。暗部においても電圧が現れる原因は、光ファイバの断面がある面積を持っていてマーク部以外の部分の光も集光することと、マーク部でもある程度の光の反射があるためと思われる。この結果明部と暗部の出力を差動的に増幅すれば、マークを十分検出できる。フォトトランジスタについてもほぼ同様な直流特性が得られた。

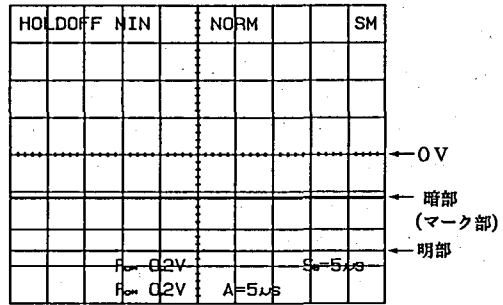


図4 フォトダイオードの直流特性

フォトICについては明部では約5V、暗部では0Vに近く、TTLレベルのデジタル出力が得られたが、照明の強さ、マークの濃淡により、同じ照度の変化でもスイッチング動作を行わない場合があった。これはフォトICは照度によりON、OFFする閾値が決まっていることと、雑音による誤動作防止のためにシュミット・トリガ回路を内蔵していること、スイッチングにヒステリシスを持つためと考えられる。他の種類のフォトダイオード、フォトトランジスタ、フォトICについても測定を行ったが、ほぼ同様な結果が得られた。

2-5 受光素子の選定

ケーブルの移動速度は最大10m/sであり、ケーブル表面に印刷されている符号のサイズを約1mmとすれば、符号形状を検出するためには、移動方向に対し、1符号10分割程度の解像度が必要と考えられる。1画素10μs、すなわち100kHz以上の周波数応答特性が必要である。実験の結果、フォトトランジスタは増幅度は良いものの応答速度が追従できないことがわかった。また、バイアス電圧が必要なため、微小信号を検出するには、暗電流による影響が問題となる。フォトICは光通信のためのデジタル信号処理用に設計されているので、照度の或閾値に対しON、OFF動作を行う。このため応答速度は十分であるが、照度により閾値を決定しなければならず、照明の調整が非常に困難である。また、雑音防止回路が内蔵されているため、照度の変化に対し不感帯が存在し、微小な光信号変化の検出には適さないと言える。これに対し、フォトダイオードは出力信号レベルは小さいが、入射光量と出力電流の直線性が良く、応答速度も速いため、高速な増幅回路を付加すれば十分符号検出が可能であり、3種類の素子の中では最も適していることがわかった。今後はフォトダイオードにより符号検出を行って行くこととした。

3. 符号検出

3-1 符号検出方法

フォトダイオードを使い実際に高速で移動する符号の検出ができるかどうか実験を行った。図5に移動符号の検出方法を示す。冷却用ファン用モータに円盤を取り付け、円盤表面に1mm□の文字をつける。円盤の直径は約6cmであり、3600rpmで回転するため、文字を約10m/sで動かすことができる。照明をおこない、文字の反射光を受光し、光ファイバにより伝達して、光電変換および増幅を行う。この信号をストレージオシロスコープで観測し、

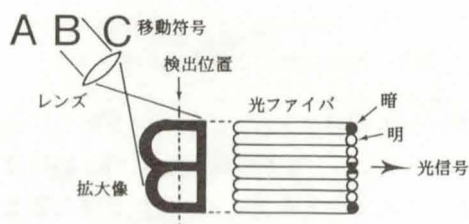
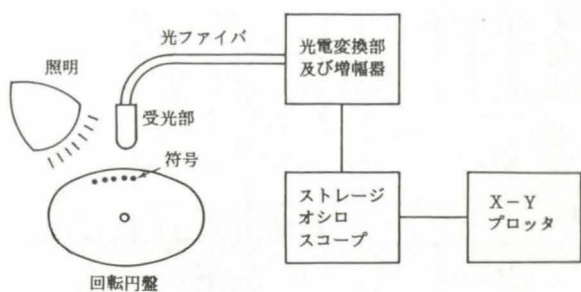


図5 移動符号検出方法

X-Yプロッタにより記録する。受光部では、移動する符号をレンズにより拡大し、符号の移動方向に対し垂直に配置した8本の光ファイバ(直径0.25mm)により検出する。光ファイバの位置により、図5に示すように暗部と明部が現れる。光電変換部では光ファイバをまとめ、1つのフォトダイオードにより電気信号に変換する。また、円盤上にケーブルを貼付け、実際のケーブルの符号検出も行った。さらに、今後検出符号の判定、表示あるいは認識などを行う必要があるため、検出した文字のアナログ信号を、アナログコンパレータにより2値化(デジタル

化)することを試みた。

3-2 検出結果

図7に回転円盤上の文字の検出結果を示す。円盤上にはMITSUBAという文字が書かれているが、検出信号に文字の特徴がはっきりと現れていることがわかる。これは、文字の移動方向に対し、光ファイバを垂直に配置したので、垂直方向8画素の解像度を持つためと考えられる。また、検出速度も十分追従できる。図8に円盤上に取り付けた実際のケーブルの符号検出結果を示す。ケーブル上の符号は、色が薄いため、信号レベルは低くなるが、検出可能であることがわかる。これによりフォトダイオードを使った移動符号の検出は成功したと考察される。

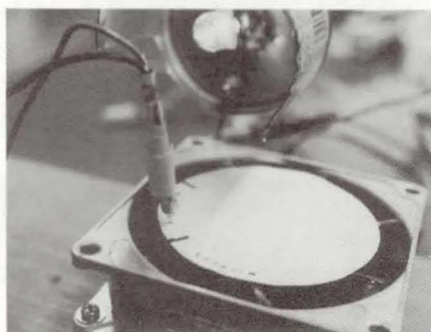


図6 符号検出部

図9に検出した符号の2値化結果を示す。アナログコンパレータを使用することにより簡

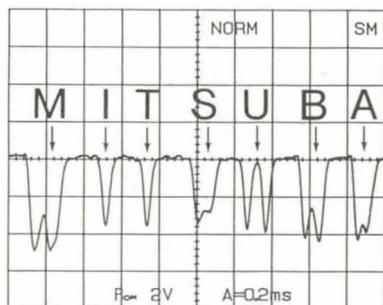


図7 回転円盤上の文字の検出結果

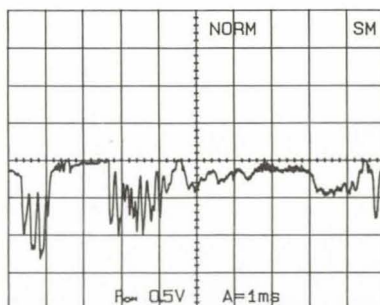
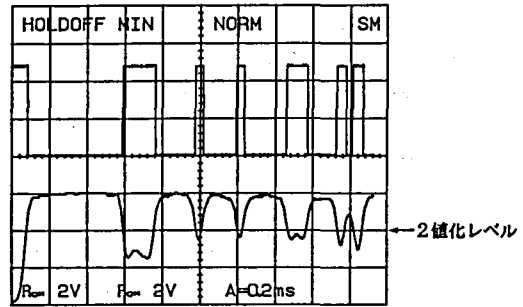


図8 ケーブル上の符号の検出結果

単な回路で、符号検出信号をデジタル化することができた。2値化レベルを適当に選ぶことにより、ノイズを除去した、符号の特徴を示すデジタル信号を作り出せることがわかる。信号が2値化できたことで、後段において、2値化信号をデジタル処理することにより、符号の良否の判定が可能となる。



下：検出信号，上：2値化信号

図9 検出符号の2値化（デジタル化）

4. あとがき

高速に移動する物体等を観測するには、現在高速シャッターカメラや高速度ビデオ解析システムなどがある。これらの高価なシステムで最高速のもの（1画面1/200000秒）を利用しても、10m/sで移動する1mmの符号はやっと検出できる程度である。本研究では、フォトダイオードを使って非常に簡単な装置で符号検出を行っている。これは、検出する符号サイズが限定されており、それほど解像度を必要としないため、必要な分解能の光信号を並列的に検出することで可能となったものであり、OCRに比べても非常に高速である。符号の2値化もできることがわかったので、今後は、正常なパターンと比較を行うことにより、検出した符号の良否の判定を行いたい。また、検出した複数の光信号を複数個のフォトダイオードを用いて並列に電気信号に変換することにより、符号の表示なども試みたい。

参 考 文 献

- (1) 大島：イメージセンサの選び方・使い方，(1986) 日刊工業新聞社
- (2) 東芝半導体事業本部：Optoelectronic Semiconductors Product Guide, pp. 9-13, (株)東芝 (1988)
- (3) 伊藤：オプト・デバイス応用ノウハウ (第7版), pp. 31-55 (1984) CQ 出版