

5. 高齢者の視覚能力を補完するレーザー式安全装置の試作

梅崎 重夫*, 深谷 潔*, 池田 博康*

5. Development of Safety Device of Laser Beam Type for Compensating Visual Ability of Aged Workers

by Shigeo UMEZAKI*, Kiyoshi FUKAYA* and Hiroyasu IKEDA*

Abstract; In automated warehouses, workers are forced to confirm a human absence in a movable range of a stacker crane before they operate it. Especially for aged workers, whose visual abilities decline with age, it is extremely difficult to confirm the human absence. As a result, aged workers may start it erroneously in spite of the human existence in the movable range of a stacker crane.

In this report, the prevention system against the erroneous start operation by aged workers was developed. The safety device of laser beam type was developed which confirmed the absence of human body in the wide movable range of the stacker crane automatically instead of eyes of aged workers. The characteristics of the safety device are summarized as follows:

(1) The safety device uses laser beam for monitoring wide range. A long exposure of the laser beam to human eyes may become harmful. Therefore, the one-shot laser beam of a very short period is used. If the one-shot laser beam reaches the receiver (photo sensor), this means that human body does not exist in the movable range, and the safety device permits radiation of the next shot and this process is repeated. On the other hand, if the one-shot laser beam does not reach the receiver, this means that the human body exist in the movable range, and the safety device stops the next radiation. This control method can be called the "Consecutive Confirmation Control Type". The human eyes are never harmed by this control because the exposing of the laser beam to human eyes can be limited within the very short period.

(2) The exposing period of the beam shot can be reduced to less than 27ms under the condition that the wavelength of the laser beam is 670nm and its output power is 1.5mW. The safety classification of this device corresponds to CLASS 1 (as defined IEC825) in comparison with CLASS 3A of a normal laser beam sensor.

Keywords; Safety, Safety control, Safety device, Laser, Aged worker

1. 緒 言

自動倉庫による作業では、起動時の安全確認は、作業者が広大な倉庫内空間を目で見に行くしか方法がない。しかし、高齢者では加齢と共に視野が狭くなる傾向が指摘されており¹⁾、広大な倉庫内空間の安全確認は相当な困難を伴うと考えられる。そこで本研究では、広大な倉庫内空間を高齢者に代わって自動的に監視できる安全装

置の試作を試みた。

上記の目的に使われる装置として、まず第一に考えられるのが光線式的安全装置である。しかし、自動倉庫では広大な倉庫内空間を監視する必要があるため、監視距離がせいぜい数mである通常の光線式安全装置ではこの要求に対応できない。そこで本研究では、通常の光と比較して遠方に到達し易いレーザー光を用いた安全装置を試作した。以下、この装置の概要を報告する。

*機械システム安全研究部 Mechanical and System Safety
Research Division

2. レーザー式安全装置の基本構成

Fig. 1 は、本研究で試作したレーザー式安全装置の基本構成図である。Fig. 2 は本装置のタイムチャートであり、図中「1」は信号出力ありを、「0」は信号出力なしを意味する。

いま、Fig. 1 において人間が起動装置 (1) を操作すると、短パルス発生回路 (2) から、きわめて短い時間 ΔT だけ継続するパルス信号 c_M が発生する ($c_M = 1$)。このパルス信号によって投光器 (3) に電圧を印加すると、時間 ΔT だけレーザー光が発光する ($PRO=1$)。このとき、投光器と受光器 (4) の間に人間や物体が存在していなければ、投光器から発生したレーザー光はそのまま受光器に到達し ($DET=1$)、受光器からは時間幅 ΔT の許可信号が発生する ($P=1$)。この許可信号を OR ゲート (5) の一方に入力すれば、これが再び投光器の入力となるから、レーザー光は引き続き発光を継続し許可信号も発生し続ける。

一方、この装置が発光を継続しているときに人間や物体がレーザー光を遮光したときは、受光器にレーザー光が到達しなくなる ($DET=0$) から、許可信号は生成を停止し ($P=0$)、これによりレーザー光の発光も停止する ($PRO=0$)。

ただし、人間や物体がレーザー光を遮光してから投光器がレーザー光の発光を停止するまでには遅れ時間 ΔL があるから、この時間内に人間の目がレーザー光に暴露されるおそれがある。また、既に投光器と受光器の間に人間や物体が存在しているときに、人間が起動装置を操作すると、最大で時間 ΔT だけ人間の目がレーザー光に暴露されるおそれがある。従って、上記のいずれの場合にも人間の目が危害を受けることのないように、レーザー光出力 P_W や時間 ΔL 、 ΔT を設定する必要がある。

ここで、レーザー光出力が P_W の装置において、人間の目がレーザー光によって暴露される時間の許容限界を ΔL_{max} とすると、人間の目が危害を受けないためには、次の条件が成立しなければならない。

$$\max(\Delta L, \Delta T) < \Delta L_{max} \quad (1)$$

ただし、(1) 式の左辺は ΔL と ΔT の最大値を意味する。なお、この装置では投光器や受光器の位置ずれ、光軸ずれ等が生じた場合にも、許可信号 P は発生せずレーザー光の発光は停止する。また、Fig. 1 の装置は後述するようにフェールセーフな構成となっているから、装置を構成するいずれかの要素が故障したときにも許可信号 P は発生せず、レーザー光の発光は停止する。

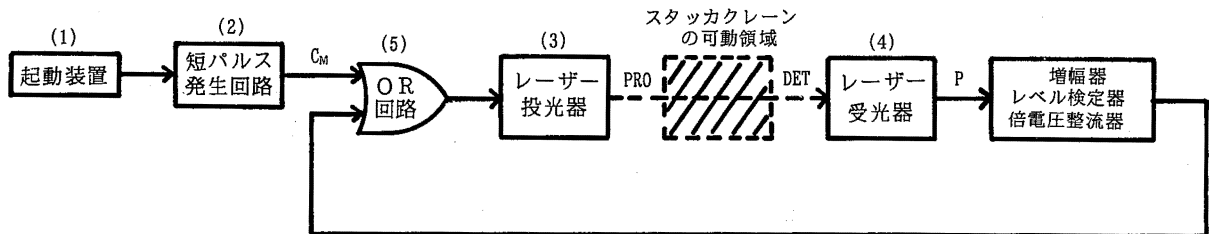


Fig. 1 Basic construction of the laser-type photo-electric sensor proposed.
レーザー式安全装置の基本構成

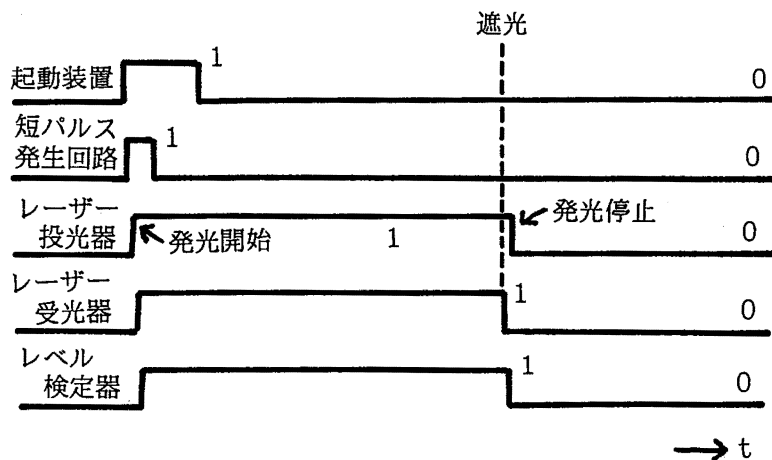


Fig. 2 Timing chart of the laser-type photo-electric sensor.
レーザー式安全装置のタイムチャート

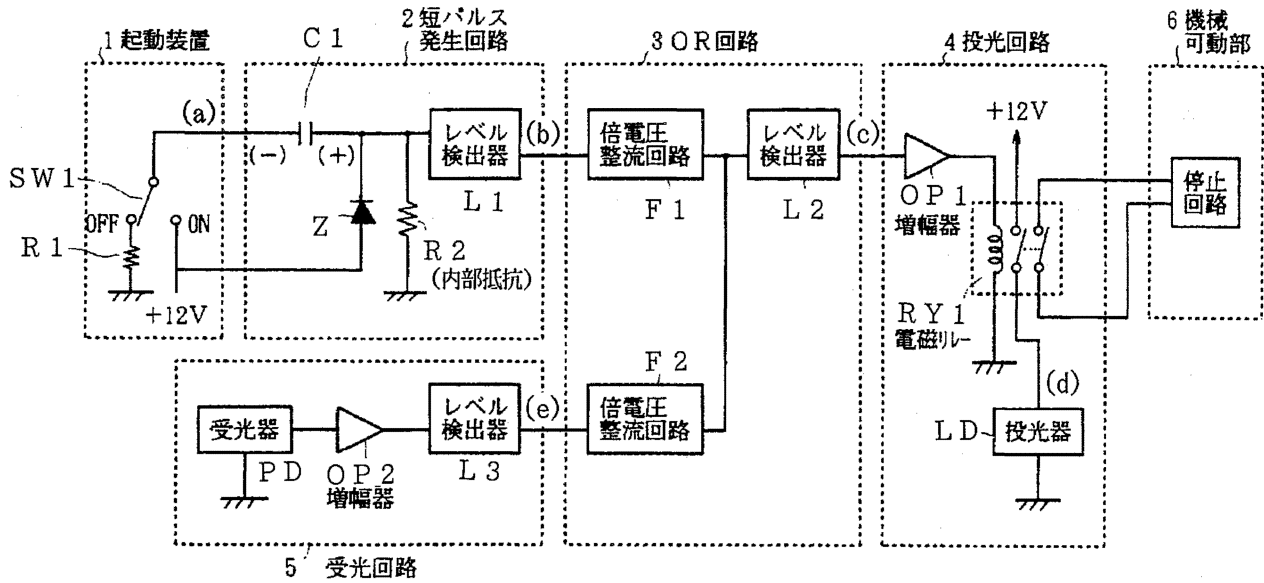
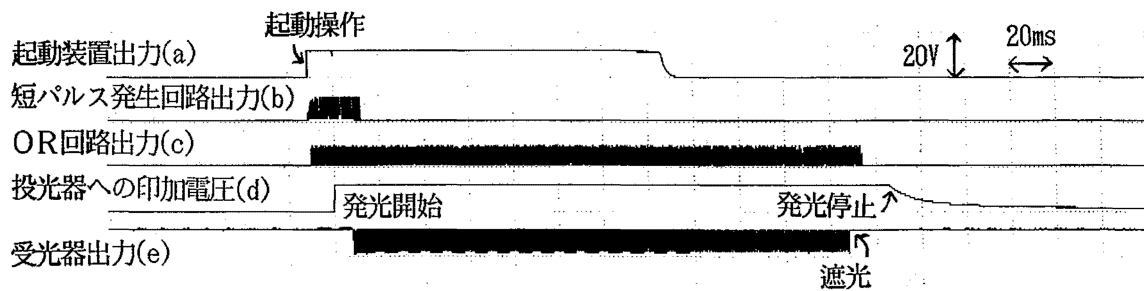
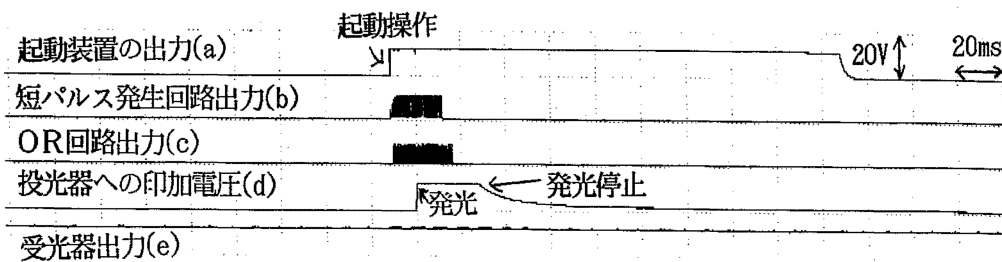


Fig. 3 Electric circuit developed for the laser-type photo-electric sensor.
試作したレーザー式安全装置の回路図



[A] 人体がスタッククレーンの可動範囲に進入し、レーザー光を遮光したとき



[B] 既に投光器と受光器の間に人体が存在している状態で、レーザー光を発光させたとき

Fig. 4 Efficiency test of the laser-type photo-electric sensor.
レーザー式安全装置の性能試験結果

3. 試作した装置

3.1 回路構成

Fig. 3 は、試作した装置の回路図である。装置に使用したレーザー投光器は、(株) オーディオテクニカ製の SU-17P である。投光器の中心波長は 670nm、光出力はユニット射出端で 1.5mW、労働省通達等^{2),4)}で定めるクラス分けはクラス 3A (連続光照射の場合)、ビーム径は 3.5 mm、ビーム開き角は 1.3 mrad 以下である。

レーザー受光器には、同社製 SUR-10A のフォトダイオードを使用した。この受光器のピーク感度波長は 840 nm、感度波長域は 600~1000 nm、受光有効径は $\phi 10$ mm、受光角度は $\pm 8^\circ$ である。フォトダイオードで受光した信号は、日本信号 (株) 製のフェールセーフ IC で増幅およびレベル検定を行った。

なお、電圧を計測したのは、Fig. 3 の回路の (a)~(e) である。

3.2 装置の設置

以上の投光器と受光器を自動倉庫の長辺側の両端に対向して設置した。適用した自動倉庫は (株) ダイフク製のラックマスタ L シリーズであり、投光器と受光器の間は 14.3 m、その設置高さは床面より 50 mm であり、投光器と受光器はスタッカクレーンの走行路から約 30cm 離して設置した。

4. 実験結果と考察

4.1 実験結果

Fig. 4[A] に、あらかじめレーザー光を継続発光させておき、その後に遮光したときの実測結果の例を示す。投光器は起動ボタンを操作した後 10 ms で発光を開始し、遮光後 18 ms で発光を停止している。

Fig. 4[B] は、既に投光器と受光器の間に人間が存在しているときに人間が起動装置を操作したときの実測結果である。起動装置を操作すると、投光器からは 27 ms (これは、時間 ΔT に等しい) だけ発光が継続する。

以上より、本装置で人間の目がレーザー光に暴露される可能性のある最大時間は、 $\max(18 \text{ ms}, 27 \text{ ms})=27 \text{ ms}$ となる。従って、本装置では人間の目が 27 ms の間レーザー光に暴露されても傷害を生じることのないように、レーザー装置の光出力を設定する必要がある。

4.2 考 察

4.2.1 本装置が目には障害を与えないことの確認

レーザー光は電磁波の一種であり、波長によって目に及ぼす影響は異なる。たとえば、紫外光 (200~315 nm) は角膜上皮で吸収されて角膜表層炎を起こし、近紫外光 (315~400 nm) は角膜を透過後に水晶体で吸収され、水晶体の白濁 (白内障) を起こす。これに対し、本研究で対象としている可視光のレーザー光 (400~780 nm、本装置では 670 nm) は、許容限界を超えて目に暴露されると、網膜を損傷させて視力傷害を起こすことが知られている。

上記のような災害を防止するために、労働省通達²⁾「レーザー光線による傷害の防止対策について」では、レーザー装置を人体に与える影響の程度に応じてクラス 1、クラス 2、クラス 3A、クラス 3B、クラス 4 の 5 つの等級に分類し、クラス 3A 以上の等級の装置についてはレーザー管理区域の設定、インタロックシステムの構成、作業管理、健康管理等の措置を講ずべきことを示している。

本研究で使用したレーザー装置も、レーザー光の波長が 690 nm、レーザー出力が 1.5 mW であるから、上記通達の別表 I に基づけば、連続発光の場合はクラス 3A に該当し、このままでは人体検出用の安全装置としては利用できない。しかし、いま仮に前述した逐次確認方式によってレーザー光の発光時間を制限できるならば、クラス 2 やクラス 1 に該当する可能性がある。そこで、上記通達の別表 1 の式を利用して、試作した装置の等級を検討した。

ここで、レーザー装置の被爆放出限界 (レーザー光線の波長と放射持続時間に応じて、人体に許容されるレーザー光線の最大被爆放出レベルをいう) を AEL [J]、 t を露光時間 [s] とすれば、等級をクラス 1 とするためには、装置のレーザー光出力は次式の $P_{W \max}$ [W] 以下とする必要がある。

$$AEL = 7 \times 10^{-4} \times t^{0.75} \quad [\text{J}] \quad (2)$$

$$P_{W \max} = AEL \cdot (1/t) \quad [\text{W}] \quad (3)$$

試作した装置では、 $t = 0.027$ [s] であるから $AEL = 4.65 \times 10^{-5}$ [J] となり、 $P_{W \max} = 1.72$ [mW] となる。これに対し、試作した装置に取り付けられている投光器の光出力は 1.5 [mW] であり、1.72 [mW] より小さい。よって、試作した装置の等級はクラス 1 であることが確認できた。

4.2.2 フェールセーフ性の確認

本装置では、装置を構成する要素のいずれかが故障したときは、レーザー光の発光を停止すると共に、スタッカクレーン用非常停止回路の接点を開いて、スタッカクレーンを直ちに停止できるフェールセーフな構成とした。

Table 1 Failure mode effect analysis of the laser-type photo-electric sensor.
レーザー式安全装置の故障解析結果

| 素 子 | | 故 障 モ ード | 故障の結果 |
|-----|------------|--------------------------|----------------------------------|
| 1 | 抵抗 R 1 | 断線 | 短パルス発生せず |
| 2 | コンデンサ C 1 | 短絡 | 短パルス発生せず |
| | ダイオード Z | 断線 | 同上 |
| | レベル検定器 L 1 | 短絡 断線 故障 | 同上 同上 同上 |
| 3 | 倍電圧整流器 F 1 | 故障 | 許可信号発生せず |
| | 倍電圧整流器 F 2 | 故障 | 同上 |
| | レベル検定器 L 2 | 故障 | 投光器発光せず |
| 4 | 出力アンプ OP 1 | 故障 | 投光器発光せず |
| | リレー R Y 1 | コイル断線 接点の接触不良 接点溶着 | 同上 同上 同上 |
| | 投光器 LD | 断線 光軸ずれ レンズ汚れ等 | 投光器発光 投光器発光せず 投光量不十分 同上 |
| 5 | 受光器 PD | 断線 光軸ずれ レンズ汚れ等 | 許可信号発生せず 同上 同上 |
| | 増幅器 OP 2 | 故障 | 同上 |
| | レベル検定器 L 3 | 故障 | 同上 |

Table 1 は、このための故障解析表である。

なお、電磁リレー RY1 の接点に溶着が生じたときは、レーザー光が継続して発光を続けたり、スタッカクレーンが走行を継続したりするおそれがある。このため、本装置では強制ガイド式リレーを二重化し、これらの動作の不一致検出回路を設けることにより、リレーの溶着を常時検出する方式とした。

また、厳密に言えば、投光器が故障すると遅れ時間 ΔL や ΔT が長くなる側の故障、またはレーザー光出力 P_W が増大する側の故障を否定できない。これらは、いずれも危険側の故障であり、人間の目に傷害を与えるおそれがある。このうち、後者の故障については、フェールセーフ IC の利用により、レーザー光の発光を停止することができる（フェールセーフ IC では、受光器側にあらかじめ定めた強度を超えた光入力が発生すると、増幅器部分が出力を停止する）。

これに対し、今回試作した装置では、前者の故障が起きたときには、レーザー光の発光を停止できない。そこで、

このような故障に対処するために、投光器に対して短時間 Δt だけ発光命令を与え、発光命令が停止した時刻 t_P から一定時間 ΔL_{max} を経過した後に、確かに受光器側にレーザー光が到達していないことが確認されたとき、初めて次の発光命令を許可する制御方式についても検討した。このような方式とすれば、遅れ時間 ΔL や ΔT が徐々に長くなる側の故障が生じたときは、時刻 $(t_P + \Delta L_{max})$ では依然として受光器側にレーザー光が到達しているから、この検出により次の発光命令を禁止できる。

5. 結 言

自動倉庫による作業では、起動時の安全確認は、作業者が広大な倉庫内空間を目で見に行くしか方法がない。しかし、高齢者では加齢と共に視野が狭くなる傾向が指摘されており、広大な倉庫内空間の安全確認は相当な困難を伴うと考えられる。そこで、本研究では、高齢者に代わって、広大な倉庫内空間を自動的に監視できるレーザー式安全装置の試作を試みた。この概要は次の通りで

ある。

1) 万一、レーザー光が人間の目に入っても傷害を起こすことのないように、レーザー光を制御する方式として、逐次確認方式を提案した。

この方式では、投光器からレーザー光をきわめて短時間だけ発光し、人体が存在していないためにレーザー光が受光器に到達したときは次のレーザー光の発生を短時間だけ許可する。一方、人体が存在しているためにレーザー光が受光器に到達しなかったときは、次のレーザー光の発生を禁止する。

2) 上記の方式を、投光器の中心波長が 670 nm、レーザー光出力が 1.5 mW、等級がクラス 3A (連続光照射の場合) のレーザー装置に適用したところ、人間の目がレーザー光に暴露される時間は、試作した装置では、27 ms 以下に抑えられることが分かった。これは、労働省通達に定めるレーザー装置の等級で言えば、クラス 1 に該当する。

以上が本研究の成果の概要であるが、本研究の実用化を図るためには、投光器が劣化して時間特性が変化した

場合の対策や、反射光、外乱光、他光軸との干渉等のように、多くの検討課題が残っている。また、これは本装置に限ったことではないが、振動等による光軸のずれや受光部の光学系の汚れ等も考慮しなければならない。今後は、これらの課題についても順次検討を進めていきたい。

参考文献

- 1) 高年齢労働者の労働災害防止対策調査研究委員会報告書, 中央労働災害防止協会 (平成 3 年).
- 2) レーザー光線による障害の防止対策について, 昭 61.1.27, 基発第 39 号, 安衛法便覧 II, 労働基準調査会 (1995) pp.1389-1410.
- 3) JIS C 6802, レーザ製品の放射安全基準, JIS ハンドブック (安全) (1995) pp.162-190.
- 4) IEC825, Radiation safety of laser products, equipment classification, requirements and user's guide (1984).

(平成 8 年 3 月 15 日受理)