

レーザーレベラの受光器および操作装置の製作

関東職業能力開発大学校 山下 泰弘

関東職業能力開発大学校 谷田部 良久

Production of a receiver and operating device using a laser leveler

YAMASHITA Yasuhiro, YATABE Yoshihisa

要約 レーザーレベラは、農地を平らにする為にトラクタに取り付ける装置である。予め農地の隅にレーザー発光器を置き、高さの基準を作っておく。レーザーレベラは、発光器のレーザーを受光することでトラクタの垂直位置を検出し、農地を均すブレードを上下させる。レーザーレベラを使えば、熟練の操作技術がなくとも農地を均平にすることができる。ただし、購入するとすると400万円程もする⁽¹⁾。令和2年5月に、栃木県小山市の農家の方から当校へ、レーザーレベラを共同製作する依頼があった。依頼者は、自身が所有するトラクタや建設現場用のレーザー発光器を利用することで、費用を抑えた自作を考えていた。そこで、筆者らは令和3年度から教員研究として取り組んだ⁽²⁾。教員研究は、レーザーレベラの受光器、および操作装置の製作をすることで、依頼者への情報提供、および今後の訓練に活かす為の要素技術の獲得を目的とした。令和3年度の取組みとして、受光器は、フォトダイオードアレイで発光器のレーザーを受け、レーザーの位置を検出する実験回路を作成した。フォトダイオードはレーザー以外の光にも反応する為、天気の変動に対応した仕組みが求められる。操作装置はレベラを手動操作で上下させる試作品を作成した。

I はじめに

令和2年5月に、栃木県小山市の農家の方から当校へ、レーザーレベラを共同製作する依頼があった。レーザーレベラは、農地を平らにする為にトラクタに取り付ける装置である。もし購入するとすると、400万円程もする。リースでは1日2万5千円程である。依頼者は、農業以外にトラクタなどの修理業にも従事しており、自作や修理について経験と意欲を持っている。

そこで、令和2年度の電気エネルギー制御科の総合制作実習において、テーマの一つとして学生3名で取り組んだ。初期の打ち合わせでは、受光器は既製品を利用する予定であったが、受光器も製作することとなった^(注1)。残念ながら、屋外でレーザーを検出させることに手間取ったことや、基板パターン設計ミスによる手戻りの繰り返しによる時間超過で、動作させるまでには至らなかった。一方、依頼者が担当するレーザーレベラの機械的な部分の製作については、令和2

年度末で骨組み用鋼材の準備など初期段階であった。

令和3年度は総合制作実習で引き継ぎを希望する学生がいなかった為、筆者らの教員研究のテーマとして取り上げることにした。

本稿では、主に教員研究で取り組んだ内容を示す。教員研究では、依頼者への情報提供、および今後の訓練に活かす為の要素技術の獲得を目的とした。

II レーザーレベラと製作物

1 レーザーレベラ

図1にレーザーレベラの構成を示す。レベラはトラクタの後方に取り付けて使用する。油圧シリンダでブレードを上下させることで、農地を均平にする。レーザーレベラは、レベラにレーザー装置を組み込んだものである。

レーザー発光器は、水平面にレーザーを放出しながら回転し、基準の高さを作り出す。レーザー受光器

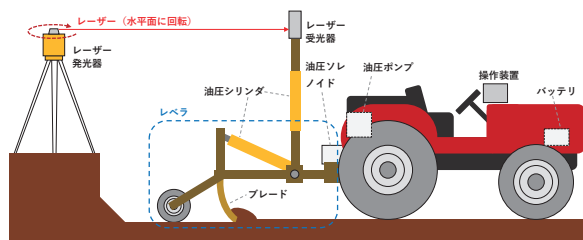


図1 レーザーレベラ

は、レーザーを受光することで基準に対する受光器（相対的にトラクタ）の垂直位置を検出できる。垂直位置に応じた自動的なブレードの上下により、熟練の操作技術がなくとも農地を均平にすることができる。

農地が均平であれば、作物の育成がバラつかず、水張りの調整が楽にでき、除草剤が均等に行き渡るといった利点がある³⁾。

2 依頼者の要望

総合制作実習で取り組んだ時期を含めると、令和 2 年 6 月から令和 3 年 10 月の間に、対面での打合せは 7 回行った。依頼者の主な要望を示す。

- ・可能な範囲で自作する。
- ・安く仕上げる。(なるべく中古品を購入)
- ・高さ 200mm 程度の範囲で凹凸を検出し均平する。
- ・仕上がりは高さ±10mm 以内の平面が理想。
(現状の農地は±150mm 程度の凹凸で作付け)
- ・均平作業は、田植え前で雨が降っておらず、農地がぬかるんでいない時に行う。
- ・所有している田圃、100 m×50 m×7 枚に使用する。
- ・レベラは、レーザーを基準に自動で上下する“自動”モードと、運転者が自由に動かせる“手動”モードを備える。
- ・“手動”モードを先行して製作する。

3 製作物と分担

表 1 に、依頼者の所有機器と主な仕様を示す。トラクタ、レーザー発光器、レーザー受光器、および油圧ソレノイドは、依頼者が中古品を購入したものである。

レーザーレベラの製作は、依頼者と筆者らで分担した。依頼者は、油圧で動作するレベラ、および受光器の高さを調整するポールの製作を担当した。筆者らは、レーザー受光器、および操作装置の製作を担当した。依頼者の製作対象について、令和 3 年 10 月時点の状態を図 2 に示す。組立て途中の状況である。トラクタに搭載されている油圧システムから、油圧ソレノイ

表1 依頼者の所有機器と仕様

項目	製品	仕様等
トラクタ	LG LT380D	油圧ポンプ搭載
レーザー発光器	TOPCON RL-20	ローティングレーザー (建設現場用) サイズ：156 mm×156 mm×237 mm 波長：不明 (700 nm 程度) 到達距離：半径 150 m
レーザー受光器	TOPCON LS-10	RL-20 用のセット品 2 個 (内 1 台は故障品) サイズ：78 mm×27 mm×166 mm
油圧ソレノイド	KANZAKI DG2-02-2 KANZAKI DG2-03-3	各 2 つのセット ダブルソレノイド

ド経由で 2 本の油圧シリンダにつないでいる。電気的な指示を油圧ソレノイドに送ることにより油圧シリンダが動作することは確認した。レベラの部分は、農地を均平にする為のブレードの溶接は完了しているが、タイヤやシリンダの溶接は未完である。

図 3 に、筆者らの製作対象のイメージを示す。製作対象は、レーザー受光器と、操作装置である。レーザー受光器は、レーザー発光器が作り出す水平面を検出する。操作装置は、レベラを制御する。

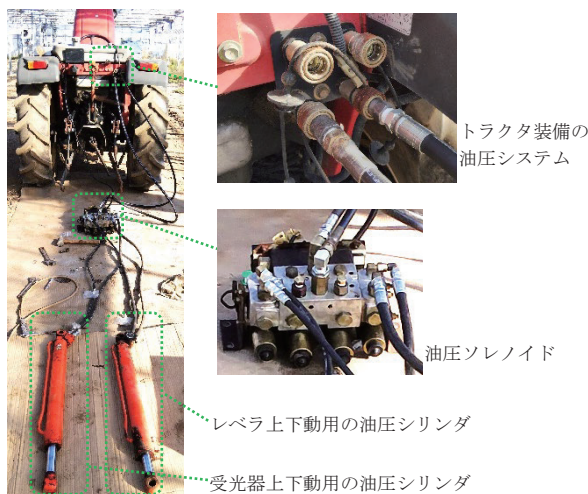


図2 依頼者の製作対象

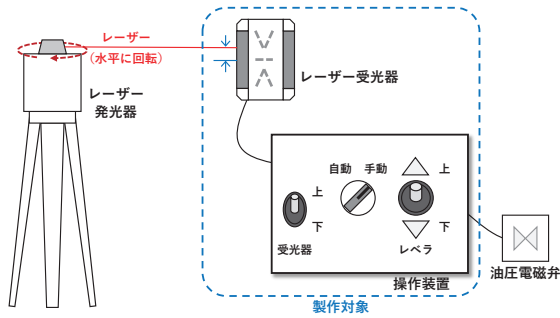
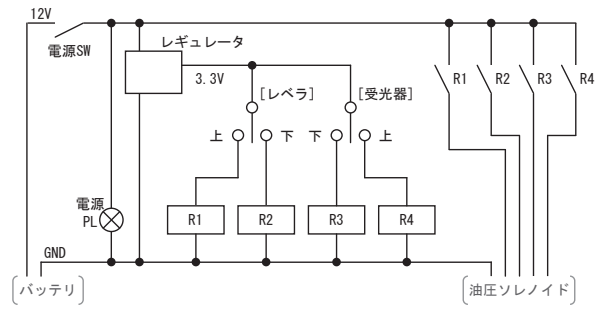


図3 筆者らの製作対象



(a) 回路図 (主要部のみ抜粋)

III 受光器および操作装置の製作

受光器および操作装置の全体構成を図4に示す。受光器がレーザーを受光し、高さの位置情報を操作装置に伝える。操作装置は、レベラや受光器の高さを制御する。操作装置は、自動モードの場合、受光器からの情報を基に、レベラの油圧シリンダを上下させる。手動モードの場合は、上下スイッチの操作でレベラを上下させる。受光器を支えるボールは、モードに関わらず、スイッチで上下できるようにする。尚、電源はトラクタのバッテリー (12V) とする。

事前の打合せの通り、まずは手動で動作する操作装置を試作した。



(b) 外観

図5 手動用操作装置の試作品

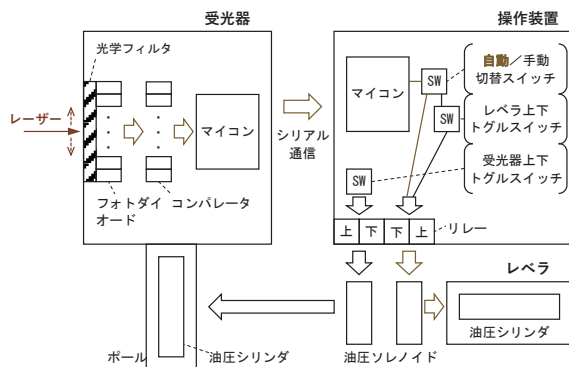


図4 受光器および操作装置の全体構成

1 手動用操作装置

図5に、手動用操作装置の試作品を示す。スイッチ操作でレベラのブレードを上下させる“手動”モードに絞った操作装置である為、シンプルな構成となる。後に“自動”モードと共存させる予定である。

令和3年10月末に、“手動”モードに限定した操作装置の試作機をトラクタと接続し、2本の油圧シリンダが駆動することを確認した。

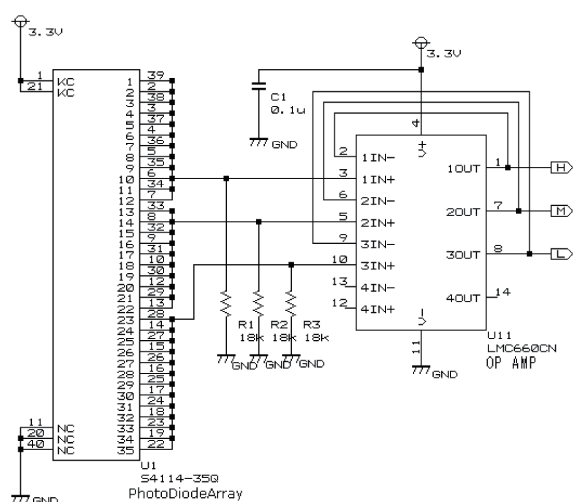
2 レーザー発光器

使用するレーザー発光器のレーザーは、赤色 (700nm程度) である。光源を覗けば赤く光っていることを確認できるが、壁などに当ててもその場所を視認することはできない。正確な波長を知る為、メーカーに問い合わせたが「古い機種の為、不明」との回答であった。また、栃木県産業技術センターに発光器を持ち込み、光スペクトラムアナライザーで測定を試みた。測定器の入力にレーザーを導くことができなかった為、測定は失敗した。よって、光源の正確な波長は不明である。

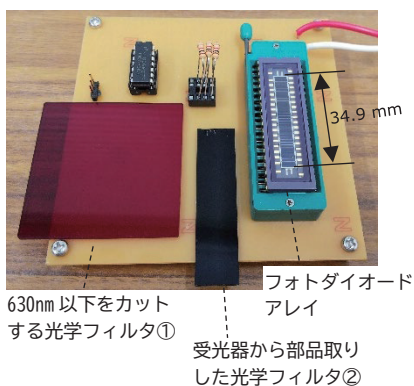
3 フォトダイオードアレイを用いた受光回路

レーザー検出用に、フォトダイオードアレイを購入し、これを使用した実験回路を製作した。図6に、フォトダイオードアレイで受光する回路を示す。受光したレーザーの高さを3段階に分け、ボルテージフォロワを通して出力する。また、フォトダイオードアレイは、受光面に34.9mmの高さを持ち、35個の素子からなるものである。図6(b)の光学フィルタは、実験をする際にフォトダイオードアレイに被せて使用した。

図7に、室内でレーザーを距離30cmから受光した場合の出力波形を示す。室内では、電位差2.5V、周期220ms (発光器の回転周期) でレーザーの受光を検出することができた。



(a) 回路図



(b) 外観

図6 フォトダイオードアレイで受光する回路

ただし、このまま屋外に持っていくと、太陽光のみで、常に電源の 3.3 V を出力してしまい、レーザーを検出することができない。フォトダイオードアレイを光学フィルタで覆う、プルダウン抵抗の調整が必要となる。

図 8 に、調整をした後の出力波形を、室内と室外に分けて示す。室外は、晴天時（日射量は、受光面が向く水平方向が 310 W/m²、太陽垂直方向が 1,012 W/m²）であった。この実験では、プルダウン抵抗を 1 kΩ にした。光学フィルタには、受光器から部品取りした光学フィルタ②を使用した。このフィルタの仕様は不明だが、レーザー発光器の光や、700 nm のレーザー光は通過するが、635 nm のレーザー光は通過しないことを目視で確認した。他に、波長 630 nm 以下をカットする光学フィルタ①を使用した実験も行い、図 8 と同様の結果を得た。

レーザーを受光していない状況のバイアス電圧は、屋内で 20 mV、屋外で 410 mV、となった。バイアス電

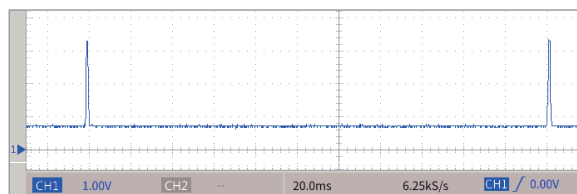
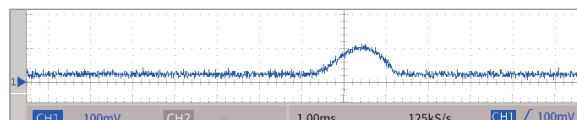
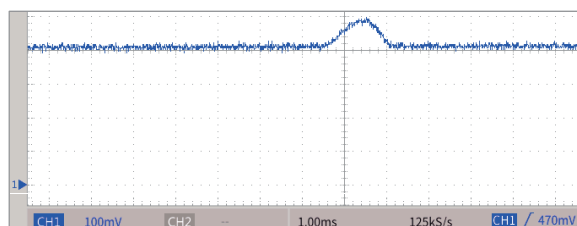


図7 フォトダイオードの出力波形



(a) 屋内



(b) 屋外（水平方向の日射量：310 W/m²）

図8 フォトダイオードの出力波形(調整後)

圧に差はあるが、レーザーを受光すると、屋内で 80 mV、屋外でも 80 mV 程の増分を確認できた。

ただし上述の設定では、晴天時の太陽に受光面を向けて（日射量 500 W/m² 以上）いくと、太陽光のみで出力が最大になり、レーザーを検出できなくなる。プルダウン抵抗をより小さくする、光学フィルタを調整する、または出力の大きいレーザーを使う、といったことが解決策として考えられる。

4 コンパレータを用いた受光回路

フォトダイオードの出力は、天気によって変動する。したがって、天候の変動を考慮した閾値電圧との比較をすることにより、レーザーを検出できる回路を作成した。図 9 に、閾値電圧との比較をコンパレータで行う回路図を示す。閾値電圧は、最上位と最下位に配置したフォトダイオードの出力に、それぞれ約 50 mV 加算したもの（図 9 の BASE_H と BASE_L）を使っている。フォトダイオードの上半分は BASE_L と比較し、下半分は BASE_H と比較する。

図 10 に、図 9 の回路の実験で得た波形を示す。室内でレーザーを距離 30 cm から、フォトダイオードアレイの中位で受光した場合である。CH1 がフォトダイオードの出力 M、CH2 が閾値電圧 BASE_H、CH3 がコンパレータの出力 OUT_M である。閾値電圧を超えた時に、High となることを確認できた。

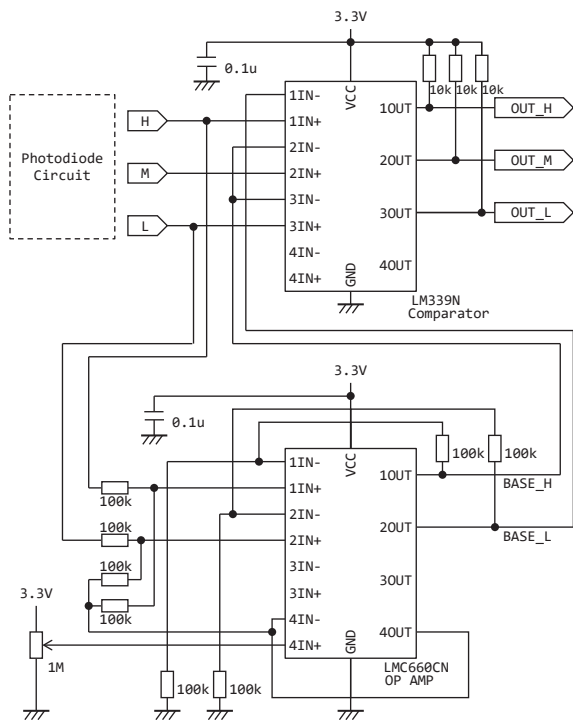


図9 コンパレータを使用するレーザー検出回路

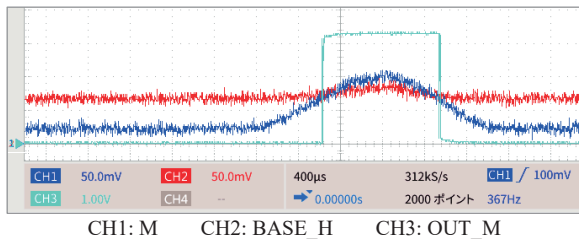


図10 コンパレータ使用回路の出力波形

5 受光回路の信号取得

ここまでの実験回路では、レーザーを受ける高さは3段階であった。実際は受光面の高さ 200 mm の受光器を実現する為、フォトダイオードアレイを 6 個並べ、10 mm 毎の受光面とすると 20 段階となる。反応のあった段の情報を、受光器内に組み込んだマイコンから、操作装置のマイコンまでシリアル通信 (CAN) で伝える。

IV 進捗と課題

“手動”モードに限定した操作装置の試作品を依頼者のトラクタと接続し、油圧シリンダを駆動することは確認できた。レーザー受光器は、実験基板でレーザーを検出することができた。

強い日差しを受けた状態での動作や、トラクタの向

きに関わらず、レーザーを検出できるようにすることが課題である。使用しているレーザー発光器は、レーザーが当たる場所を目視確認できない為、実験の難しさを増大させている。別のレーザー発光器の入手について、依頼者と相談中である。また、屋外の過酷な環境で安定した動作をさせることは未知な世界であり、今後の課題となる。

V おわりに

令和3年度の教員研究として、レーザーレベラの受光器および操作装置の製作に取り組んだ。依頼者への情報提供、および今後の訓練に活かす為の要素技術の獲得を目的としたが、道半ばである。依頼者へは、実験や試作の段階で実現できたことを伝えた。依頼者は、令和4年度も製作を継続する予定である。訓練に活用する要素技術としては、特にセンサー周りの電子回路設計について、筆者にとって未習熟であった技術を知る機会となった。

受光器は、提供されたレーザー発光器のレーザーに反応する実験基板を製作した。操作装置は、手動操作用の試作品を依頼者のトラクタで動作させた。特にレーザー受光器製作に要する技術力や費用^(注2)の高さが課題となった。水平面 360 度のどこからでも受光可能にする手法も難解だ。今後は、実現しやすい構成を見つけ、動作するものを製作する予定である。

[注]

(注1) 依頼者から提供された受光器は、分解して有効な信号を取り出すことに失敗し、かつ依頼者が要望する受光範囲の上下 200 mm に届かないことから、受光器も製作することとなった。

(注2) 特定の波長のみを通す光学フィルタの見積を2社に依頼したところ、40 mm 角で 20~30 万円以上であった。

[参考文献]

- (1) スガノ農機、2022 総合カタログ「レーザーレベラ」、令和3年12月15日、pp.90-102。
- (2) 関東職業能力開発大学校、紀要第14号「レーザーレベラの受光器および操作装置の製作」、2022年3月、pp.8-11。
- (3) 西尾道徳、西尾敏彦、図解雑学農業「水管理」、平成17年6月6日、pp.84-85。