

〔技術報告〕

マイコンカーラリー用ラップタイマの開発

青木 秀幸^{*1}・池田 明日香^{*2}・千田 陽介^{*3}

Development lap timer for Micom Car Rally

Hideyuki AOKI^{*1}, Asuka IKEDA^{*2} and Yosuke SENTA^{*3}

Abstract

Micom Car Rally is a robot car race. Accurate lap times are important for the players participating in this rally. However, lap timers required for the rally are not commercially available. Because inaccurate time measurement is obtained when using existing timers, we developed a new lap timer in this study. This lap timer can measure time more accurately by using a higher precision oscillator than the existing lap timer. At the same time, we also produced a time display that is easy to wire.

Key Words : Micom Car Rally, Lap timer, Control circuit, Gate machine

1. 結 言

ものづくりセンターが支援している学生の課外活動の一つにマイコンカーラリー⁽¹⁾がある。マイコンカーラリーとは図1に示すマイコンカーと呼ばれる4輪駆動の車両型ロボットがコースを自走するタイムを競う競技である。コースの認識はマイコンカーに搭載されたライントレースセンサやカメラを用いた画像認識で行われ、参加者には速く走るための車両の設計からコースを認識するための電子回路の製作やプログラミングといった総合的なロボット製作技術が要求される。現在、全国の工業高校を中心とした多くの高校生が参加しており、大学生や社会人も参加している。

本学の学生たちも他の参加者に負けないよう日々試行錯誤しながらマイコンカーの製作に取り組んでおり、2019年には全国大会優勝という成績も残している。さらに上のステップを目指すためにはマイコンカーの性能を正しく評価し改良を重ねる必要があるが、そのためには走行試験を行う際に正確なラップタイムを計測する必要がある。しかしながら、マイコンカーラリー用のラップタイマとして市販されている製品は確認できず、現状ではラップタイム計測の手段が乏しい。そこでものづくりセンターでは新たにマイコンカーラリー用のラップタイマを開発することとした。本報告では開発したラップタイマに関して報告する。

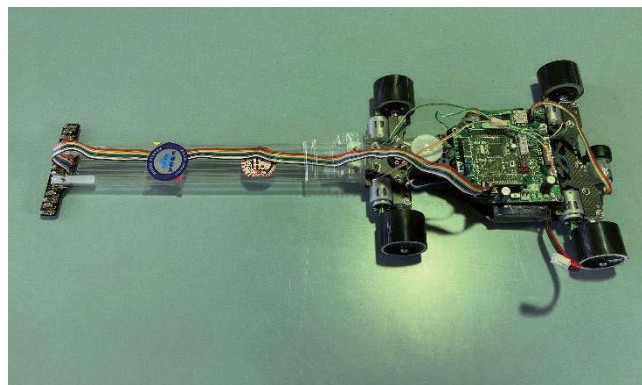


図1 マイコンカー

^{*1} ものづくりセンター, ^{*2} 機械システム工学科, ^{*3} 情報ネットワーク工学科
令和4年10月31日受理

2. 既存のラップタイマと本装置の概要

先述したとおり、本報告執筆時点（2022年10月）でマイコンカーラリ用のラップタイマとして市販されている物は確認できておらず、大会開催時は参加者等が独自に製作した物が用いられている。例えば湘南大会では参加校の卒業生が製作したラップタイマ²⁾を提供していた。そのラップタイマは、コース上のスタート/ゴールゲートに取り付けられたセンサでマイコンカーの通過を検知し、経過時間の測定や表示等の制御には Arduino が用いられていた。時間の表示は、PC と通信を行い PC の画面上に現在の経過時間を表示していた。また、マイコンカーによってはスタートゲートに取り付けられたスタートバー（図2を参照）が開くとそれを認識して自動でスタートする機能を持つものもあるため、ラップタイマとスタートバー開閉機能が一体化していた。この装置の課題は時間測定の精度である。制御に用いられている Arduino Uno Rev3 のクロック周波数は 16MHz であるが、セラミック振動子を用いており水晶振動子に比べ精度が劣る。過去のマイコンカーラリの大会を参考にするとラップタイマには 0.01 秒の精度が求められると考えられるため、Arduino はラップタイマの制御に採用するマイコンとしては時間の精度に不安がある。この時間の精度に関しては4章で詳しく解説する。また PC によるタイム表示は手作り感が強く、配線準備も煩雑である。

そこで今回開発したラップタイマではこれらの問題の解決を目指した。図3に開発したラップタイマの全体構成を示す。本装置は制御回路部、スタートゲート部、時間表示部の3つの構成が一つにまとまっており、コースに配置し電源を繋げばすぐに使用することができる。制御には PIC を用い、精度の高い外部発振器を取り付けることで時間計測の精度を高めている。時間の表示は PC を使用せずに専用の LED 表示器を作成することで接続を容易にした。見た目のデザインはレース競技のラップタイマらしい7セグ表示とした。

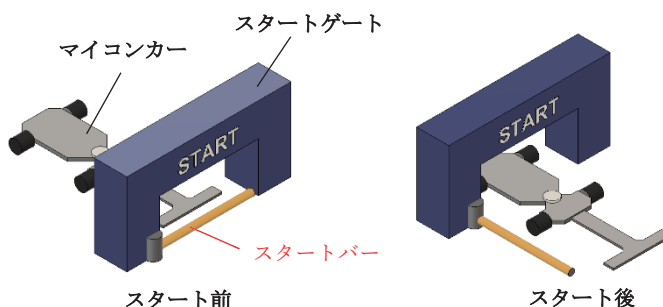


図2 スタートバーのイメージ図

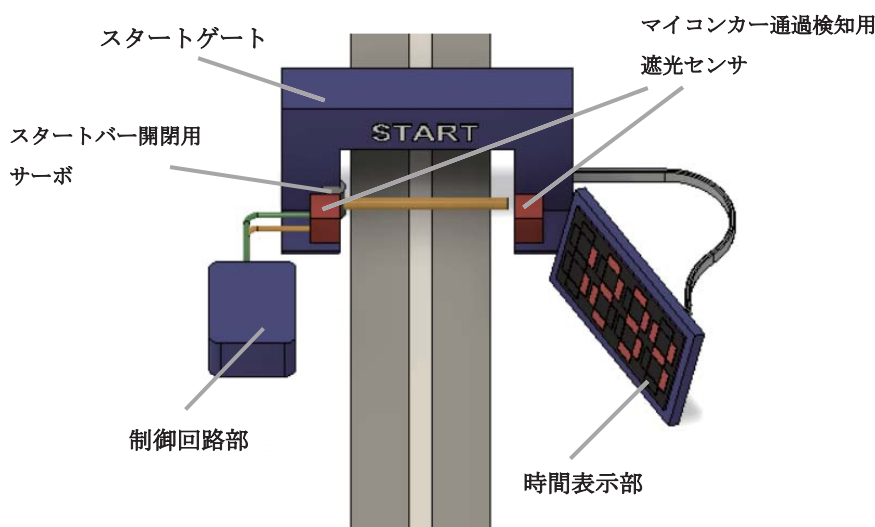


図3 装置構成

3. スタートゲートと時間表示部

今回製作したラップタイマでは図3中のスタートゲートと時間表示部の筐体も自作している。スタートゲート本体は、図4(a)のように木材を切断し塗装したものを組み合わせて製作した。組み合わせた状態のものを図4(b)に示す、ゲートの内部は空洞になっており、内部に配線を通せるようにしている。これは後述する制御回路の配線がコースに干渉しそうな場合に、ゲート内を通すことでこれを防ぐことができるようにするためである。また、スタートゲートにはスタートバーの開閉機能を備えなければならない。スタートバーの開閉はサーボモータを用いて行うこととした。図5(a)のようにアルミ角パイプにサーボモータに取り付けるためのサーボホーンを取り付けスタートバーとした。このスタートバーをサーボモータに取り付けゲートに配置したものが図5(b)である。時間表示部の筐体は亚克力板をレーザカッターで加工し製作した。マイコンカーラリーの大会でラップタイムが100秒を超えることはほとんどないため、7セグの表示桁数は小数点以下2桁を含めて4桁とした。遠くからでも視認できる大きさと照明がある屋内で視認しやすい輝度を備えた表示器にする必要があるため、高輝度タイプの小型LEDを7セグ状に大量に配置することで実現することにした。図6(a)に亚克力にLEDを取り付けたものを示す。LEDを取り付けた亚克力板の上に図6(b)に示す7セグの形に切り抜いた亚克力板を重ね大型の7セグLED表示板を製作した。LEDの取り付け位置が想定よりも高くなり必要な亚克力板の厚さが用意していた亚克力板よりも大きくなったため、亚克力板を2枚重ねることで厚みを調整している。完成した時間表示部を図6(c)に示す。



図4(a) 切断した木材



図4(b) 製作したゲート



図5(a) 製作したスタートバー

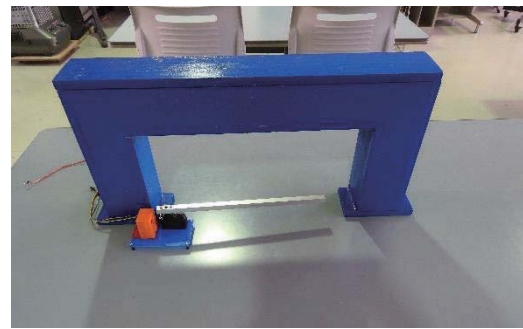


図5(b) スタートバー取り付け後

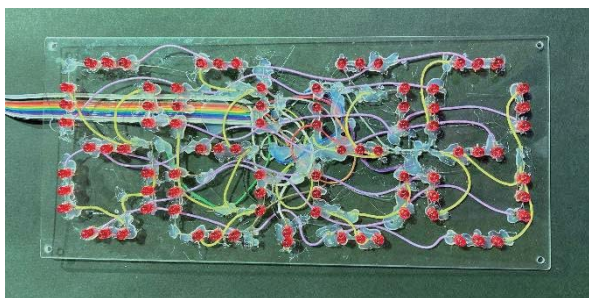


図6(a) LEDを取り付けた亚克力板



図6(b) 7セグ部分を切り抜いた亚克力板



図 6(c) 完成した時間表示部

4. 制御回路の構成とシステム

4.1 全体構成

図 7 に本システム制御回路の全体構成を示す。図のように 2 つの PIC マイコンで構成されている。このうちマイコン A は時刻を正確に計測すると共に、ボタンやセンサの情報を収集しゲートを動かすためのサーボモータやブザーを制御する。一方マイコン B は 7 セグメントによる経過時間を表示する。リセットボタンやスタートボタンはメンテナンス性の観点から基板にもボタンを取り付けているが、将来的には競技運営を行いやすくするためリモコンによる手元スイッチの拡張を考えている。同様にストップボタンも基板にもボタンを取り付けているが、並列に遮光センサにも取り付けられており、マイコンカーがゲートを通じた時も「ボタンが押された」と同様の入力となる。

システム全体の状態遷移の流れを図 8 に示す。リセットボタンが押されるのを待つ「状態 1」、スタートボタンが押されるのを待つ「状態 2」、ストップボタン(遮光センサ)が押されるのを待つ「状態 4」の三つの状態に分かれる。なお競技の都合上、スタートボタンが押されてからマイコンカーが遮光センサを通過するまで若干の時間的ズレがあるためスタートボタン押下後 2 秒間はストップボタンを無効にする「状態 3」もある。状態 3, 4 時はスタートボタン押下後の経過時刻を 10msec 単位で計測し 7 セグメントで表示する。7 セグメントは表示桁数の関係上 99.99sec までしか計測できない。そのため経過時刻が 100sec を超えたら、計測不能と判断し EE.EE を表示する。マイコン B では一般的な 7 セグメントの表示同様 “AbCdEF” といった 16 進法の数値表記を可能にしている。Error の意を表す E という文字が表示可能であったため E を連続表示している。一方電源投入直後も直後であると言う旨が分かる何かと便利である。そこで DP (Decimal Point: 小数点) を対称にした特殊な意匠ということで Eb.d3 を表示させることとした。

100 秒以内にストップボタンが押された場合、カウントを停止しブザーを鳴らすと共にシリアル通信で今のカウント値(ラップ値)を出力するようにしている。これは将来、本システムが大会等で用いられた時、計測時間を PC で管理できるようにするためである。ただし当システムのマイコンには何時何分と言った時刻を知る機能は無い。そのため計測したラップタイムを提示するだけである。何時何分にそれが計測されたか、それはどの選手のラップタイムかといったマッチングはシリアル通信を受ける PC 側のソフトウェアに依存する。

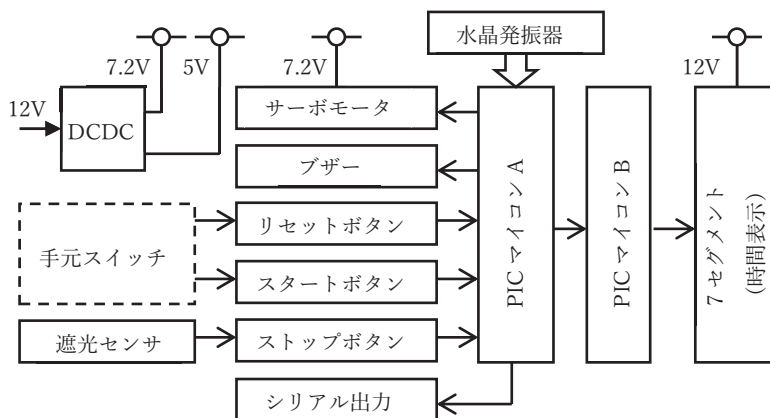
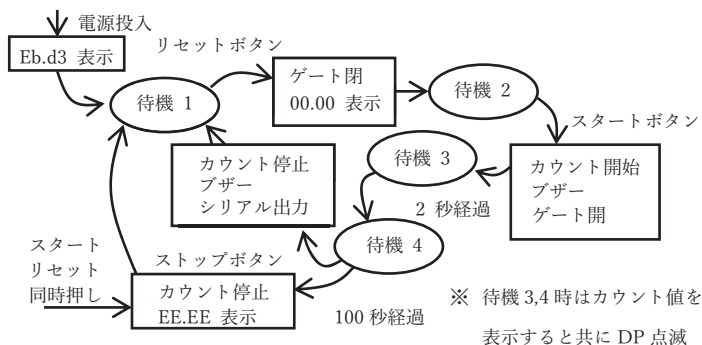


図 7 制御システムの構成図



4・2 時間計測

本システムは 0.01 秒までの時刻を計測することができる。マイコンカーラリーの選手は真剣に競技に挑んでおり、0.01 秒の差でも一喜一憂する。そのため表示した 0.01 秒まではその精度を保証しなくてはならない。本機器は 100sec まで計測できるので、0.01% (100ppm) の精度が必要となる。通常コンピュータはシステムクロックによって時刻を計測する。そのため時間計測の精度はシステムクロックの精度となる。システムクロックの生成はコストや必要精度によって、どの手段を用いるかが決定する (図 9)。PIC マイコンではシステムクロックの種別を選択することが出来る。システムクロックとして外部発振子/発振器を選択すると、その分 I/O で使用できるピンが減り余計な部品が要る。そのため通常は内蔵の RC 発振器を用いるがその精度は 5% 前後である。さらに精度が必要な場合や外部との通信の都合により内蔵発振器と異なる周波数でマイコンを動かしたい場合、もしくは発振器を内蔵していないマイコンの場合等は外付けの発振器を必要とするが通常は安価で手軽なセラミック振動子を使う。PIC マイコンと並んでよく電子工作の試作に用いられる Arduino (UNO) のメインマイコン ATmega328P もセラミック振動子で動作している。図 9 に示した通りセラミック振動子の精度は 0.5% 程度であり当システムの要求仕様を満たさないため、水晶振動子/発振器を用いなければならない。そこで当システムのマイコン A は 16MHz の水晶発振器を用いて駆動することとした。

水晶発振器で駆動する PIC マイコンの時刻計測精度を確認するため、正確な時間に対するタイマ割込みの発生回数を計測した。ここでタイマ割込みはシステム上の時間で 2.5msec に設定した。一方で、正確な時間は GPS モジュールの PPS (Pulse Per Second) 信号を用いた。PPS 信号は GPS 衛星内の原子時計に基づく 1 秒に 1 回のパルスである。その精度は ppb レベルとも言われ 2.5msec 毎のタイマ割込み (250ppm) に対して十分な精度である。計算上このパルスを N 回受ける間に、割込みは 400N 回発生しているはずである。しかしシステムクロックに誤差があるため、割込み発生回数も 400N とはならない。ここでその回数を M とすると誤差は $N-M/400 \text{ sec}$ と計算される。図 10 に 1 時間 (3600 秒) 誤差を計測してみた時の結果を示す。比較のため内蔵 RC 発振をシステムクロックとして用いた時の結果も示す。この 2 つは初期設定でシステムクロックの設定を内部 RC にするか外部の発振器にするかの選択を変えただけで、他の部分はまったく同じものである。縦軸スケールの都合上水晶発振器の方は 3600 秒でまったく誤差が無いように見えるが、実際は 0.0125sec ずれている。しかしこれは 1ppm 程度の誤差であり実用上まったく問題ない。

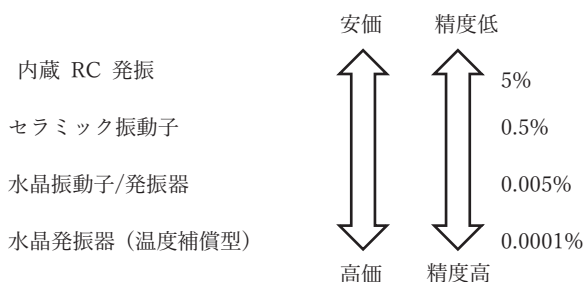


図 9 クロック生成手段の精度とコスト

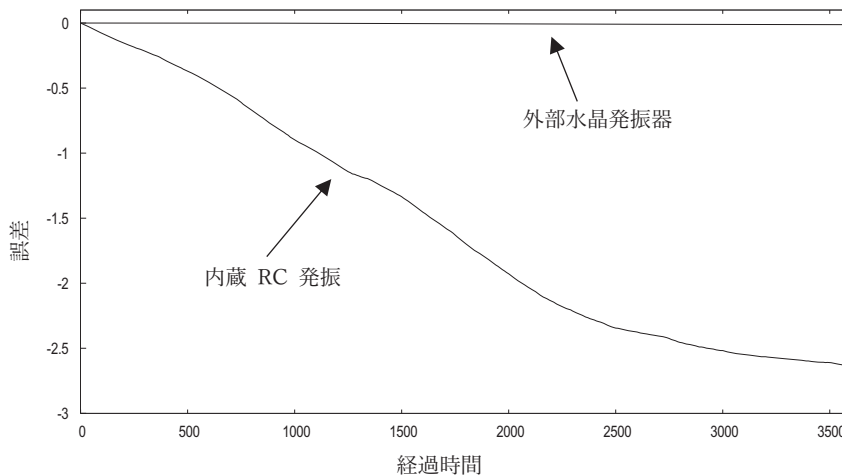


図 10 時間計測時の誤差

4・3 時刻表示

時刻表示に関しては 3 章で示した通り、4 桁の 7 セグをレーザカッターで加工したものを使っている。各桁につき 7 個の表示部があり、それが 4 桁あるので 28 個、さらに DP (小数点) があるので 29 個の表示を制御しないといけない。当システムは競技会場で使われることを想定している。その環境は照明や外光でかなり明るい可能性もある。そこで外光に負けない高い輝度を出すよう心がけた。そのためそれぞれの表示に対し高輝度タイプの LED を 3 個接続し瞬間的に 30mA という比較的大きな電流を流している。

4 桁 + DP の 29 個の表示を直接制御するには 29 個以上の端子を持つマイコンが必要であるが流石にそれは多い。そこで図 11 に示すようなダイナミック点灯をすることとした。これはまずスイッチ H~K のうち H のみを ON にしてスイッチ a~g の ON/OFF を切り替えることで 4 桁目の表示を制御し、次にスイッチ I のみを ON にして同様に 3 桁目の表示を制御し、ということを 2 桁目、1 桁目と高速に切り替える。これにより人間の目にはあたかも 4 桁すべてが同時に光っているように見える。このような回路構成を取ることにより必要な端子数は $7+4+1=12$ となり回路的には現実的な値となる (最後の 1 個は DP 用)。ただしこれら 12 個のピンを状況に合わせて高速に切り替える必要があり計算負荷が大きい。そこで時刻表示だけに特化するマイコン B を設置した。

マイコン A と B との通信は x, y, z の三本の通信で行うこととした。具体的には x と y が High なら z の High/Low に同期して 10 進法としてカウントアップ、x が Low なら z の立ち上がりエッジに合わせて y の High/Low で各桁の数値を設定する。図 8 において待機 1 からリセットボタンが押された時はこの機能を用いて全桁を 0 設定する。さらに待機 4 からストップボタンを介して待機 1 に戻る時も、当機能を用いてマイコン A が持つカウント値を表示させるようにしている。これは万一マイコン B がカウントアップパルスを取りこぼしたとしても最終的に正確な値を出すためである。

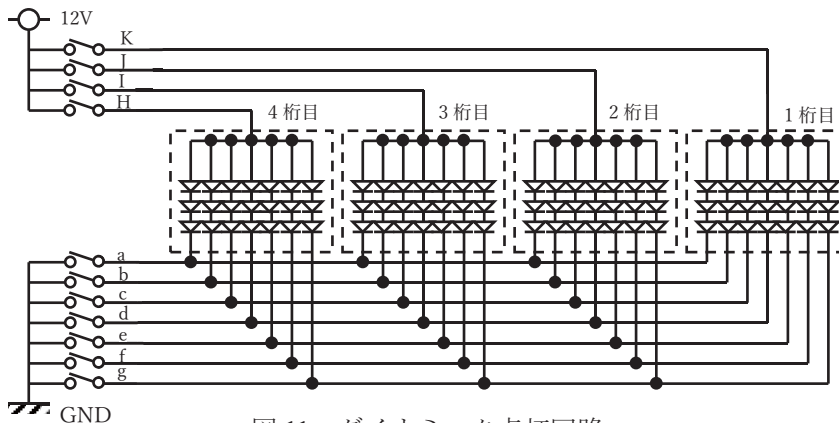


図 11 ダイナミック点灯回路

4・4 遮光センサ

遮光センサは図 12 のようにゴール部分のコース両端に発光部と受光部を取り付け、その間を通る光が遮られたかどうかを知るものである。マイコンカーが通過すると光が遮られ、それによりマイコンカーのゴールを知ることができる。ここで問題なのは受光部である。例えばフォトトランジスタなどの受光センサは発光部が発した光だけでなく、フラッシュや照明、雲による日光の変化なども反応する。そのような影響を避ける方法として、発光部は特殊な周波数で明滅を繰り返し、その周波数の光のみ反応するような仕様とした。そのような機能がモジュール化された製品として、浜松ホトニクス製の光変調フォト IC S7136 がある。これは IC 自体が受光部となっており、1つの端子に波長 850nm 近い光を発する LED を取り付けると、その光のみ反応するものである。半値角 15° の 850nm LED (OptoSupply OSISCA5111A) を用いて出来るだけビーム状に光を発するようにした。図 13 に遮光センサ周辺の回路図を示す。

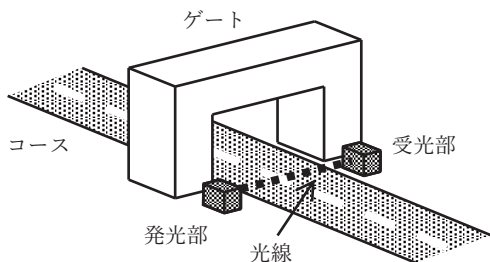


図 12 遮光センサの取り付け位置

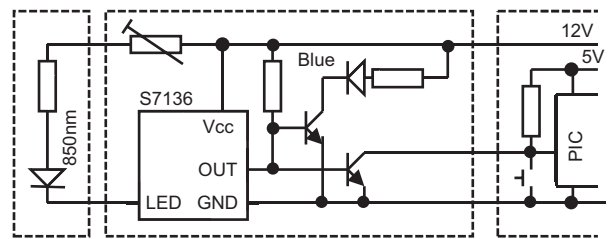


図 13 遮光センサ周辺の回路図

5. 製作したラップタイマ

今回製作したラップタイマの写真を図 14 に示す。本学にあるマイコンカーラリーコースを使って動作確認を行った。照明が明るい屋内で手動でマイコンカーを押して通過させてみたところ問題なく検知できた。次に学生が大会で使用したマイコンカーを試走させてみたところ、通過の検知やスタートバーの開閉、時間の表示に問題はなかった。今後は外部との練習走行等で実践テストを行う予定である。

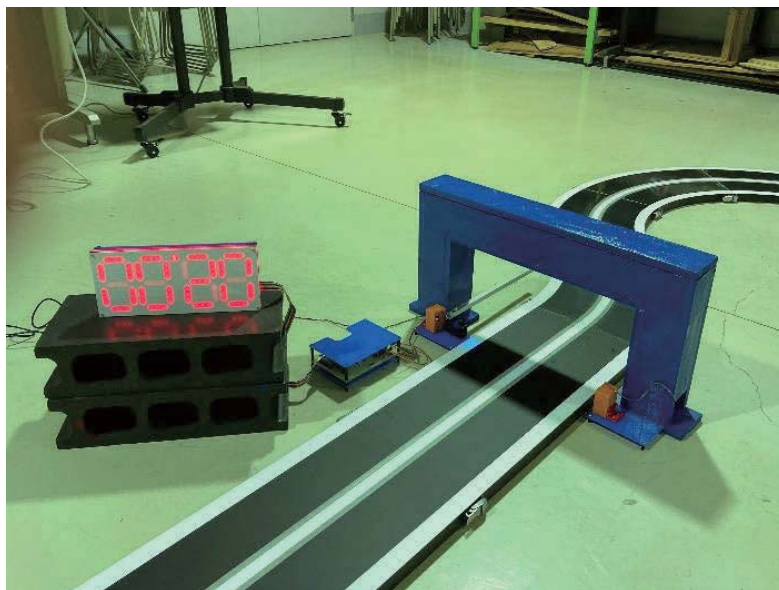


図 14 製作したラップタイマ

6. 結 語

今回、マイコンカーラリー用のラップタイマを開発した。既存の装置の課題である時間の測定精度と表示の遅延を解決することができた。開発した本装置を用いればマイコンカーの性能を正確に評価でき、本学のマイコンカーラリーチームのさらなる技術力向上に役立てたい。また、本学に外部のマイコンカーラリー選手を招いての走行会も計画中であり、走行会実施の際には本装置も活躍することが期待される。

文 献

- (1) マイコンカーラリー公式ホームページ
<https://www2.himdx.net/mcr/jmcr/index.html>
- (2) レッドインバーダ、マイコンカー用スタートゲートタイマーの youtube 動画 (2018 年登録)
<https://www.youtube.com/watch?v=ZAZzaNG9GeQ>