

〔技術報告〕

学生ロボコン用 DC モータ制御回路の開発

青木 秀幸^{*1}・久富 力^{*2}・千田 陽介^{*2}

Development DC motor Controller for Robot Contest

Hideyuki Aoki^{*1}, Riki Hisadomi^{*2} and Yosuke Senta^{*2}

Abstract

DC motors used in robot contests now increasingly require larger currents. As a result, the motor driver IC, often used in the past, cannot cope with the demands, even as a motor driver capable of passing a large current is desired. The author prototyped a circuit that uses an FET that can carry a large current to control the motor discretely. This report is regarding prototype boards.

Key Words : DC motor, Control circuit, Robot contest

1. 緒 言

ものづくりセンターでは、学生の課外活動を通じて技能習得を支援する取り組みである「ものづくりプロジェクト」を実施しており、その一環としてNHK学生ロボコン（以下、ロボコン）¹⁾への挑戦を続けている。ロボコンは毎年競技内容が変わり、9、10月頃に次年度のルールブックが発表となる。各チームはルールに従って競技用ロボットを製作し、書類審査と2回のビデオ審査を通過したチームが大会の出場権を得ることができる。図1に2019年に当プロジェクトがエントリーしたロボットの外観を示す。このロボットは1回目のビデオ審査を通過したものの、その後コロナウイルスによる本学の活動自粛に伴いプロジェクト活動の中止を余儀なくされ、止むを得ず2回目のビデオ審査を辞退した。

ルールに対応したロボットを製作するためには、多種多様な機構や制御回路を制作する技術が必要であり、モータ等の部品も様々な仕様の物を使い分ける必要がある。一方でロボット製作にかけられる時間はあまり多くはないため、毎度全てを新規設計しては大会までに間に合わない恐れがある。実際に過去の大会で本学の学生は、ビデオ審査までにロボットを完成させることができず、審査への参加を断念したこともあった。これまでの経験から、チーム内に汎用的な機構や制御回路の制作方法をストックすることで、ルールに応じたロボットを製作するために必要な試作や実験が短期間で行えるようにすることがロボコンを戦う上で重要であると考えている。特にモータ制御に関する技術は、ロボコンをはじめとするロボット競技では必須である。近年 FET や IGBT といったスイッチング素子の高性能化に伴い、市販モータは大電流を流す必要がある物が多い。そのため従来ロボコン等で用いられてきたモータドライバ IC では対応することができなくなってきている。

そこで、ロボット競技で DC モータを制御するための汎用的な回路として独自にモータドライバを製作することとした。本報告ではこのモータドライバに関して報告する。

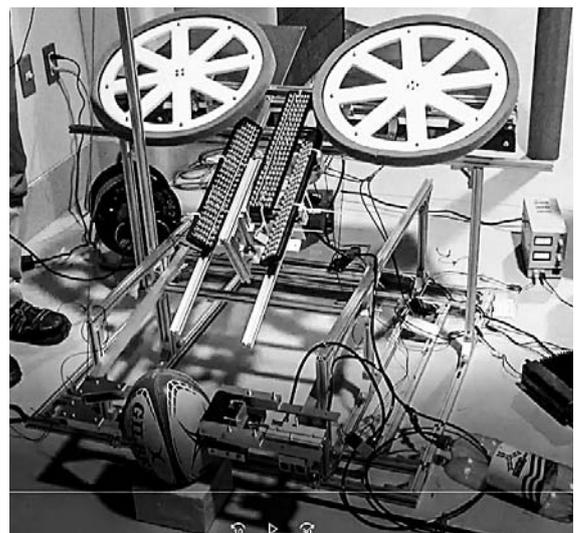


図1 2019年製作ロボット

^{*1}ものづくりセンター、^{*2}情報ネットワーク工学科
令和3年12月28日受理

2. モータの特性評価

図2に現在ものづくりプロジェクトがロボコン用ロボットを製作する際によく使用している DC モータ (TG-85R-SU-17.6-KB, 12V ツカサ電工) の外見を示す. このモータはロボットの足回り等によく使われており, カタログスペックは12V, 2.3A, 196mN・mである. このモータを図3のように鉛蓄電池で駆動(無負荷)した瞬間の電流を計測すると, 図4のようになる. 図のようにスイッチを入れてから5msの間に15A くらいの突入電流が発生していることが見て取れる. この電流値は後述するモータドライバICの定格電流の6.5倍である. ロボコンではこの大きさの電流を制御できなければ機敏な動きを実現できない.

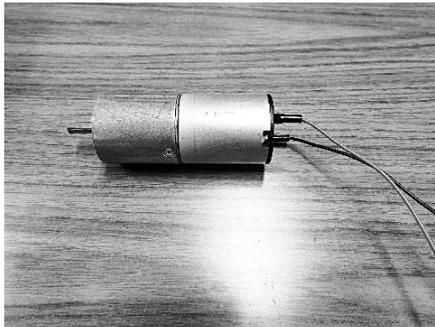


図2 DC モータの外観

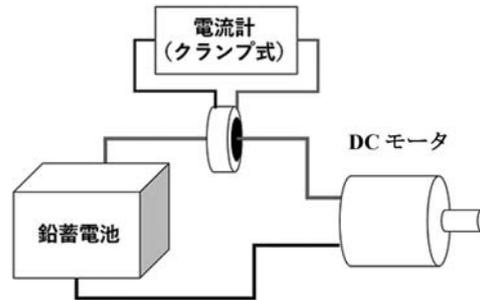


図3 DC モータの電流測定環境

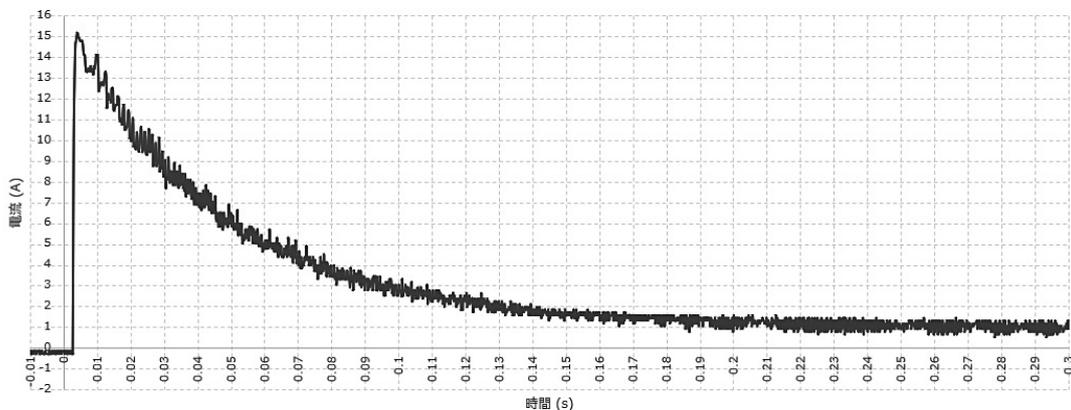


図4 DC モータの電流測定結果

3. 過去の取り組み

図5は従来モータコントロールでよく用いられてきたモータドライバIC (TA6643KQ) である. モータドライバICは内部に図6 (a) のような4つのスイッチからなるHブリッジを搭載している. このスイッチのAとDがONになれば電流は左から右に流れ, モータは正転する. 逆にBとCがONになればモータは逆回転する. また, これらのスイッチA~Dは高速にON-OFFを繰り返すことができ, 同図 (b) のようにONの時間とOFFの時間を調整することでモータにかかる実質的な電圧, すなわちモータトルクを制御することができる. この制御方法をPWM (Pulse Width Modulation) 制御と呼び, 1周期内におけるONとなっている時間 (パルス幅) の比率をデューティ比という.

図5に示したドライバICの定格電流は4.5Aであり, カタログスペック上は図2のモータを駆動させることができるように思える. そこで2018年度のロボコンに取り組んだ際は, このICを用いてモータの制御を試みたが上手くいかなかった. これは図4に示した突入電流により, ドライバIC内の過電流検出装置が働き遮断されたためだと考えられる.

そこで当時のプロジェクトメンバは, 図7のようにドライバICを2個並列に接続し負荷分散することで過電流を回避しようと試みた. しかし, ドライバICの個体差により一時的に片方のドライバICに負荷が集中するため, この

取り組みは上手くいかなかった。仕方なく2019年度のロボットでは図8 (a) のようにリレーを用いてモータの正転・逆転を制御した。リレーは内部に物理的なスイッチを持っているため、大電流を流すことができる。しかしリレーはモータドライバICのように高速にON-OFFを切り替えることができないためPWM制御を行えず、この回路だけでは正転-停止-逆転しか制御できない。

この問題を解決するため図8 (b)のように回転方向はリレーで制御し、回路全体を流れる電流をFETを用いたPWM制御で調整できるような構成とした。図9に試作した基板を示す。この取り組みは比較的上手いきき、2019年度ロボットの駆動モータの制御に活用された。

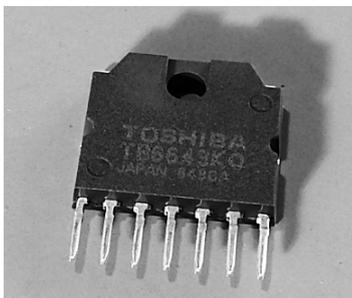
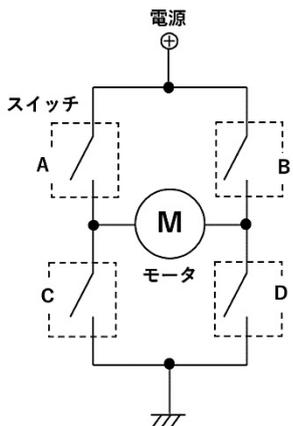
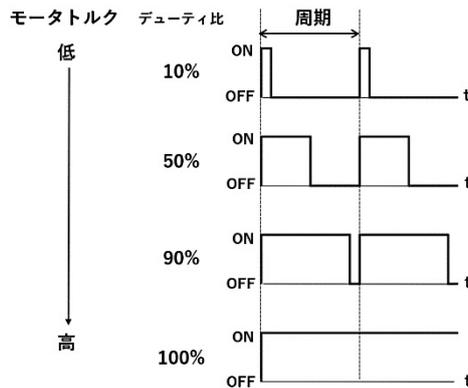


図5 従来のモータドライバ



(a) Hブリッジ回路



(b) PWM制御

図6 Hブリッジ回路とPWM制御

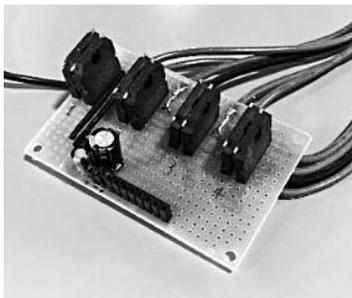
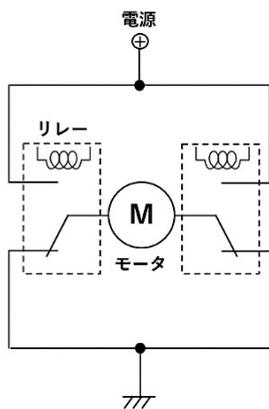
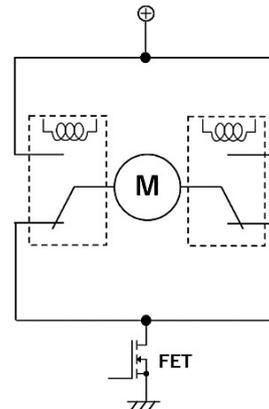


図7 モータドライバ並列回路



(a) リレーを用いたHブリッジ回路



(b) PWM制御用FETを追加した回路

図8 リレーを用いたHブリッジ回路

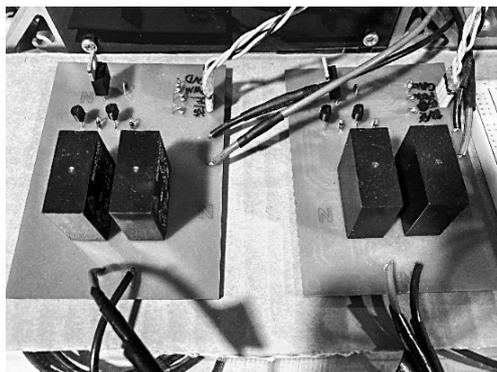


図9 実際に製作したリレーを用いた回路

4. モータドライバ回路

図9で示した回路は正転・逆転の切り替えにリレーを用いているため、少なくとも数十msほどの時間がかかる。そのため素早く細やかなロボットの動きが実現できなかった。また、リレーは電磁石とスイッチで構成されているためどうしてもある程度の重さがあり、これがロボットを軽量化する上での障害となっていた。そのため半導体 (FET) で構成されるモータドライバ回路が望まれており、モータドライバを一度モジュール化すれば汎用的にロボットの様々な所で使うことができる。

モータドライバを実現するためには図6 (a) のスイッチ部分にFETを用いれば良い。例えばEKI04027は85Aまで流すことができるため、図2のモータに十分対応することができる。しかしFETの制御には十分な注意が必要である。仮にマイコンプログラムのミスやノイズ等により図6 (a) のAとC、もしくはBとDが一瞬でも同時にONになってしまうと電源とグランドが直結することにより、回路やケーブルが燃えてしまう。何があってもAとCもしくはBとDは同時にONにならないように作らなくてはならない。

この問題を簡単に解決するには市販のハーフブリッジICを使うことが有効である。ハーフブリッジIC (IR2104ST) は2つのFETを制御し、2つが同時にONにならないことを保証する。ハーフブリッジICを2個、図10のように構成することでHブリッジを作ることができる。この考えに基づき今回ハーフブリッジICと4つのFETによるモータドライバ回路を製作した。回路の外観を図11 (a) に、回路図を図11 (b) にそれぞれ示す。この回路は大電流が流れるため内部抵抗の小さなNchFETを使っている。そのためFETの制御に電源電圧よりも高い電圧を必要とし、図11 (b) 中A部に示したブートストラップ回路によって生成している。ブートストラップ回路で高電圧を生成するためには必ずON-OFFを繰り返す制御 (PWMのデューティ比が100%でない) を行わなくてはならない。そこでPICマイコン (PIC16F18313) でハーフブリッジICを制御している。PICマイコンは上位コンピュータ (PC) との仲介を取り持ち、上位コンピュータからデューティ比の数値をUSBシリアル通信で受け取るとFETへのON-OFF信号を生成する。表1に当回路を用いてモータを回転させたときの電流の変化を示す。表中の電流測定時はPCから正転・逆転それぞれ4段階、計8段階の電流を出すよう指示しており、指令に応じて電流が発生しているのがわかる。図11 (a) に示した回路はシリアル通信によって上位コンピュータからの指示に従いモータを駆動させる仕様となっているが、PICプログラム次第では用途ごとに異なる仕様とすることも可能である。例えば図12はボリュームと外部スイッチを取り付け、ボリュームの位置によってモータへの出力電流を制御することができるようにしたものである。これは上位コンピュータからの指示がなくてもモータドライバ回路単体でモータを制御する用途を想定している。

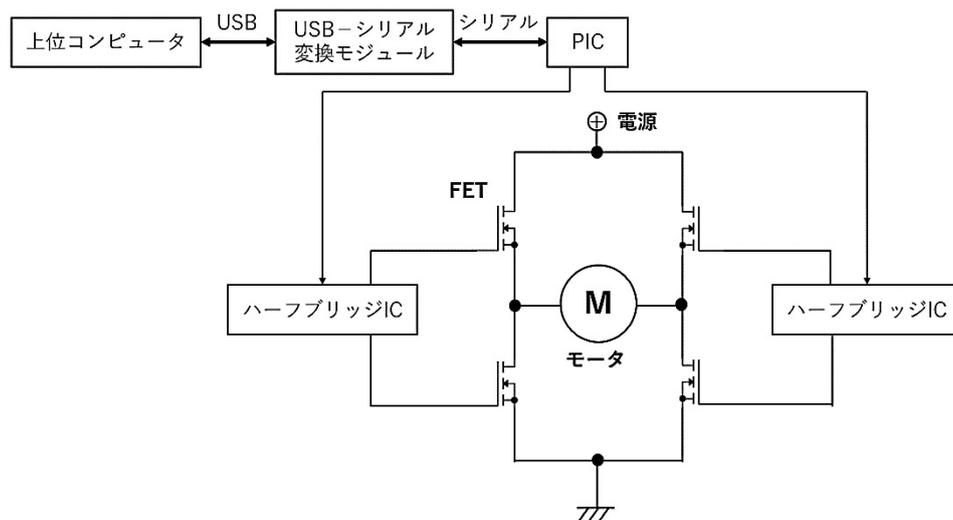
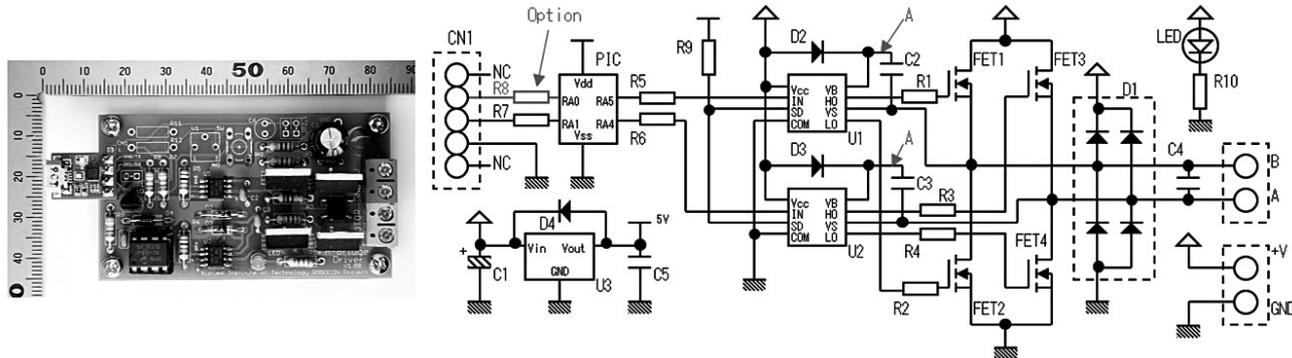


図10 ハーフブリッジICを用いたHブリッジ回路



(a) 試作した回路

(b) 回路図

図11 今回製作したモータドライバ回路

PC からの指示 (数字が大きいほど出力大)	逆転				正転			
	4	3	2	1	1	2	3	4
電流値 (A)	-1.66	-12.5	-0.83	-0.52	0.43	0.76	1.14	1.57

表1 製作した回路でモータを駆動した際の電流測定結果

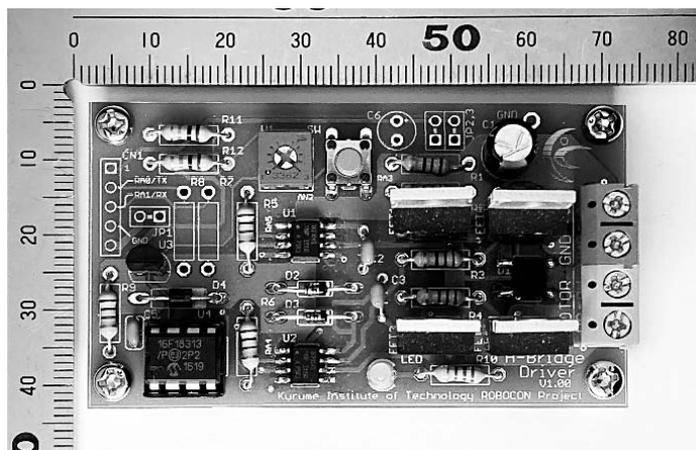


図12 ボリュームとスイッチを取り付けたモータドライバ

5. 今後のロボコンの取り組み

本稿執筆時点 (2021年12月) 次年度ロボコンのルール⁽²⁾が発表され, 当久留米工業大学でも参加予定である. 現在の構想段階では2つの移動ロボット合わせて少なくとも9個のモータが必要である. それらのモータの制御に今回作ったモジュールを利用予定である. 図13は現在開発中の小型化したモジュールである. これは表面実装の部品を使用し, 43mm×46mmの基板サイズで2つのモータドライブ回路を実現したものである.

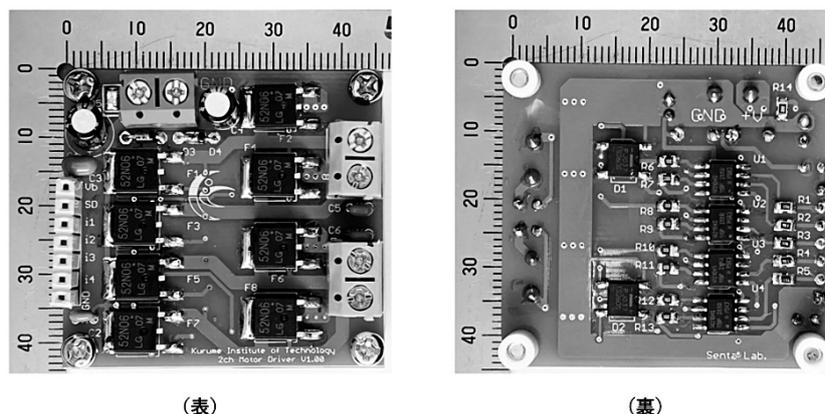


図13 作成中の 2 ch 小型モータドライバ回路

6. 結 語

ロボコンのモータ駆動に用いるモータドライバ回路モジュールを試作した。近年のモータは大電流・低電圧化が進み、既存のモータドライバICでは駆動できない。そこで大電流を流せるFETを用いてこれらのモータを駆動制御できるようにした。このモジュールを用いて2018年、2019年に作成したロボコン用ロボットのモータを駆動させてみたところ、問題なく動かすことができた。今後このモジュールを用いてロボコンに向けてロボットを製作していくつもりである。なお、このモジュールの使用上の注意や改造する際のポイントは<http://sentlab.kurume-it.ac.jp/local/circuit/07-MotorDriver/index.html> (学内のみ閲覧可能)にて公開している。各位の実験装置等にも活用していただければ幸いである。

文 献

- (1) NHK 学生ロボコン公式ホームページ (<https://official-robocon.com/gakusei/>)
- (2) NHK 学生ロボコン2022ルールブック (https://official-robocon.com/robocon_wp/wordpress/wp-content/uploads/2021/11/%E5%AD%A6%E7%94%9F%E3%83%AD%E3%83%9C%E3%82%B3%E3%83%B32022%E3%83%AB%E3%83%BC%E3%83%AB%E3%83%96%E3%83%83%E3%82%AF1112.pdf)