

論文

簡易電動機制御による電動台車の開発

山口 勇<sup>\*1)</sup> 山本克美<sup>\*1)</sup> 重松宏志<sup>\*1)</sup> 田原輝久<sup>\*2)</sup>  
 清水秀紀<sup>\*3)</sup> 星野美土里<sup>\*4)</sup> 菅原廣彦<sup>\*5)</sup>

Development of an electric-powered carriage under simplified motor control

Isamu YAMAGUCHI, Katsumi YAMAMOTO, Hiroshi SHIGEMATSU, Teruhisa TAHARA  
 Hideki SHIMIZU, Midori HOSHINO and Hirohiko SUGAWARA

**Abstract** We developed a cost-efficient electric carriage by simplifying its control circuit. This is controlled to run at a constant speed. A microcomputer is used to start and stop the carriage smoothly.

The features are as follows:

- (1)Noise-tolerant algorithm in the software that controls starting and stopping
- (2)Reduction of parts on the control unit
- (3)Improvement of operability through the addition of an emergency button and an operation indicator

**Keywords** PWM, Interrupt, Soft start, Power electronics, Speed detection

1. はじめに

重量物を搬送できる電動台車が市販され始めてきたが、価格の安い国内外製品の多くは始動や停止時に急激な発進や停止をし、積載荷物の損傷や取り扱い者の安全性が損なわれる等の課題が指摘されてきた。

本研究では、電動台車の信頼性、安全性、取り扱いやすさを確保しながら、高機能で価格が安い製品の開発を行うことを目標とした。そこで、開発に当たり次のような項目を具体的課題とした。

- 信頼性・安全性を兼ね備えた制御回路
- シンプルでノイズに強く、拡張性があり低コストな制御回路
- 安全装置
- フェールセーフなプログラムの開発
- なめらかな始動・停止を行う機能
- 電動台車の取り扱い易さの向上
- 市販の汎用台車に対抗できる電動台車とする

2. 電動台車の開発

2.1 機構部

機構部は、以下の項目に配慮し、試作した。

台車の形状

台車の形状はニーズと実用性の高い図1に示す形状とした。その寸法は縦 1.2m、横 0.75m 高さ 0.9m とした。

駆動部

最大 500kg の重量物の搬送を考慮し、24V・200W のブラシ付き直流モータを使用し、ディファレンシャルギヤにより車輪を駆動する。電池は 12V、65AH の鉛蓄電池を 2 個使用する。

搭載重量

今回は空気圧を利用した低騒音の台車とするため、100kg としたが車輪の変更により最大 500kg の搬送が可能である。



図1 電動台車の形状

\*1) 電気応用技術グループ  
 \*2) 新潟県企業局  
 \*3) 城南地域中小企業振興センター  
 \*4) 多摩中小企業振興センター  
 \*5) (株)菅原護謨工業所

2.2 制御部

重量物を搬送することの多い電動台車は、なめらかな始動・停止が安全性の面からも重要である。そこで、電動台車の電動機制御はPWM制御を採用した。PWM制御の、パルス幅を次第に広げることにより、始動時の電圧を徐々に上げていくことができ、なめらかな始動が行える。また、停止時についてはなめらかに停止でき、構造が簡単で価格も安い発電制動とした。低コストを可能とするため定速時はあらかじめ設定した速度でのみ動作することとした。

2.2.1 ハードウェアの設計

上記の基本的考え方にに基づき、設計を行ったブロックダイアグラムとタイムチャートを図2および図3に示す。制御回路は、ワンチップマイコンを使用することにより、細かな制御と拡張性を兼ね備えた回路が実現できた。また、制御回路は、CADを使用して基板を作成し、配線を極力短く、重要な部分にはシールド線を用いノイズに強くすると共に低コスト化を図った。電動台車の動作は、図3のタイムチャートに示すように、“前進スイッチ”が「ON」になると“FETゲート信号”を出力し、電動機が始動する(このとき電動機ONのパルス幅は徐々に広がっていきなめら

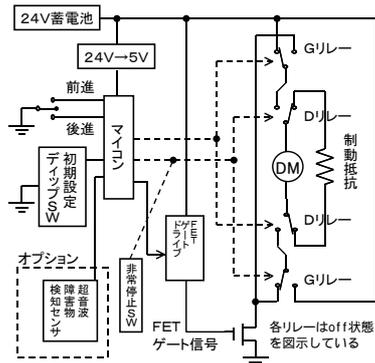


図2 制御回路のブロックダイアグラム

かな始動となる)。始動時間を過ぎると定速度走行設定電圧が電動機に加わり定速運転となる。“前進SW”が「OFF」になると、“FETゲート信号”が停止しPWM出力信号が停止する。さらに“Dリレー”により制動動作を行いなめらかに停止する。後退時は上記の動作に加えて“Gリレー”が「ON」し、電動機の回転方向を変更するのみで前進と同じ動作である。

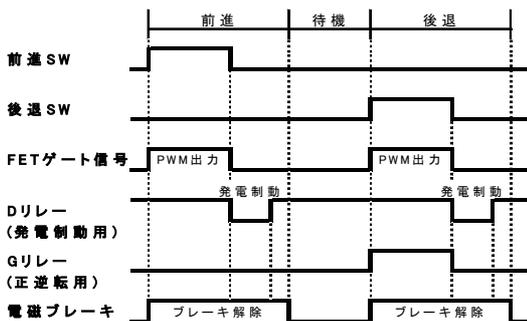


図3 タイムチャート

2.2.2 ソフトウェアの設計<sup>1)</sup>

制御プログラムは、メインルーチン及び割込サービスルーチンから構成される。メインルーチンは、前進・後退スイッチ及びディップスイッチを常時監視し、台車操作者の命令を判定する。割込サービスルーチンは、メインルーチンの判定結果に基づきハードウェアを制御する。なお、安全措置を2系統確保するため、非常停止についてはハードウェアで実現することとした。

メインルーチンのフローチャートを図4に示す。始めにマイコンの入出力設定及びタイマーによる割り込みを許可し、ディップスイッチの状態に応じて台車始動時の加速度および定速速度を設定する。次に前進後退スイッチの状態を検知し、割込サービスルーチンで行うべき制御を判定する。判定結果のデフォルトを停止とし、チャタリング等による誤信号でないことを確認できた場合のみ前進又は後退と判定することで、フェールセーフを実現している。なお、始動時の加速度設定については汎用台車の特性を参考に、高加速度・中加速度・低加速度の3モードとした。定速速度については、高速度・中速度・低速度の3モードを選択出来るよう設計した、それぞれ電動機端子電圧のデューティ比は100%、70%、40%である。

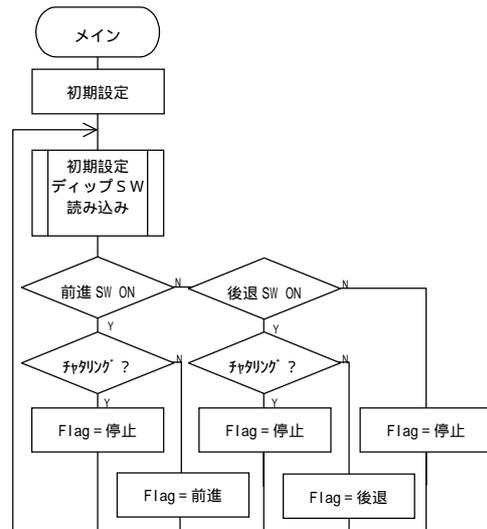


図4 メインルーチンフローチャート

割込サービスルーチンのフローチャートを図5に示す。割込はマイコン内蔵のタイマーにより200μs間隔で発生する。メインルーチンの退避後、前回割込時の処理が発電制動中であるか否か、判断する。否の場合、メインルーチンの判定結果により前進・後退または停止の処理を行う。台車を前進又は後退動作から停止させる場合、一回目の割込で、図5に示す処理により制動開始と判定する。二回目の割込から制動時間終了まで、に示す制動続行処理が繰り返され、Dリレー及びFETゲートがOFFされる。制動時間終了でに示す制動終了処理が実行されGリレーがOFFされる。直後の割込から余裕時間経過まで、に示す

処理が実行され、余裕時間が経過すると 示す処理により、ブレーキがONされる。なお、制動時間は1.5s、余裕時間は3.0sであり、割込回数をカウントすることで計測している。

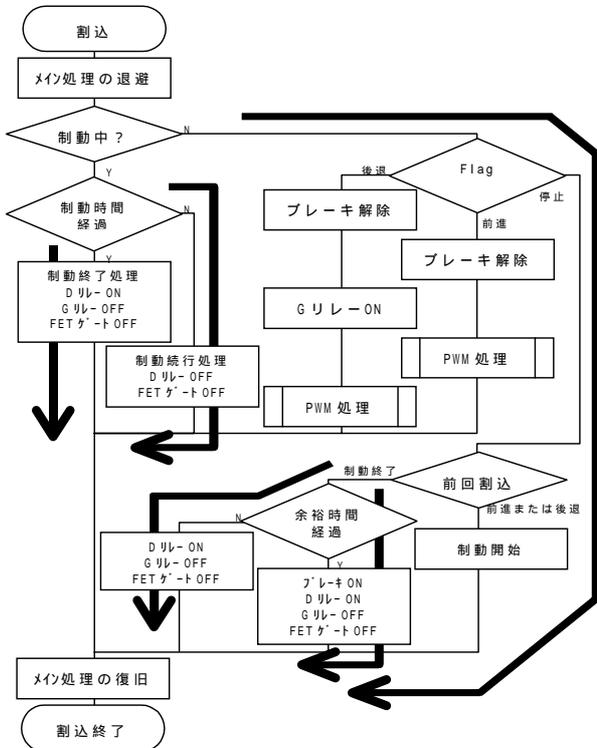


図5 割り込みサービスルーチンフローチャート

割込サービスルーチン内のPWM制御サブルーチンでは、割込回数50回を1周期として100HzのPWM出力を実現している。定速速度時デューティ、同一デューティパルス繰返回数の2定数及び割込回数カウンタ、繰返回数カウンタ、デューティの3変数を使用し、割込ごとに出力を決定している。なお、PWM周期は1kHz、500Hz、100Hzのうち電動機発振音が最も不快感のない100Hzを採用した。

割込間隔200 $\mu$ sに対し、割込サービスルーチンの最大処理時間は11.4 $\mu$ sで、CPU占有率は最大5.7%である。また、フェールセーフ側である停止信号入力時のメインルーチン最大処理時間は6.6 $\mu$ sである。したがってCPUの能力に余裕があることから機能を拡張する余裕がある。

### 3. 実験と考察

#### 3.1 運転特性測定器の試作

電動台車の運転特性を測定するために図6に示す測定器を試作した。この測定器は補助タイヤに取り付けたエンコーダの出力を、図7に示すF-Vコンバータにより電圧に変換し、レコーダに取り込むことにより電動台車の速度を検出する。また、電流センサを電動機に取付け、図9に示

す速度と電流を求めた。

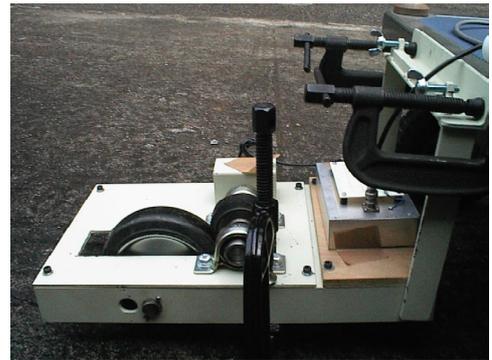


図6 速度測定器

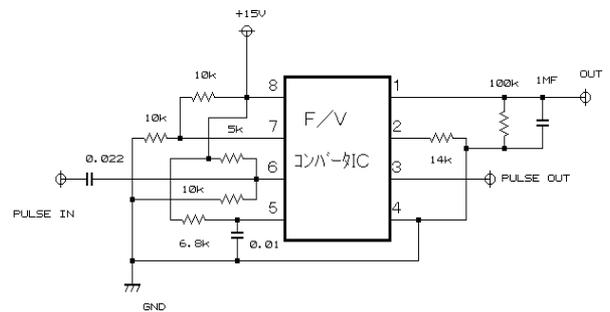


図7 F-Vコンバータ

#### 3.2 運転特性

電動台車は、始動・停止時に駆動用電動機に全電圧を加えて動作させると、急発進・急停止状態になり、荷崩れを起こしたり、電動機の故障原因となり、安全性や信頼性を損ない危険である。そこで、試作の運転特性測定器を台車に取り付け各モードの始動・停止特性を求めた。

##### 3.2.1 始動特性

電動台車の始動条件は、積載荷重、積載物、形状等により、始動速度を変えることが必要になる。実験は、台車におもりを積載しないとき、おもりが定格荷重(100kg)のとき、2倍の積載荷重(200kg)のとき、各加速度モードについて行った。表1に測定した結果を示す。なお、荷崩れを起こしやすくするため、定速速度は高速度に設定し、おもりは前輪部に重ねて積載した。

表1 始動時間(高速度設定)

加速度	積載荷重		
	0kg	100kg	200kg
モード設定	0kg	100kg	200kg
低加速度	5.7(s)	6.0(s)	10.5(s)
中加速度	3.7(s)	5.0(s)	7.2(s)
高加速度	3.2(s)	4.0(s)	4.5(s)

この結果、各モードで荷崩れなどの問題は起こらなかった。したがって、水や油等の液体を搬送するときは低加速度、軽い安定した荷物は高加速度等、積載物の種類や形状によ

り、モード選択で安全に始動できる。なお動作確認のため定速速度を高速、中速、低速にして加速度を変え、同様の実験を行なったが、動作に問題は生じなかった。

3.2.2 停止特性

発電制動の制動抵抗の値を変え、積載荷重を変化させた場合の電動台車の停止時間と制動距離を測定した。その測定結果を表2と図8に示す。

表2 停止時間（高速度設定）

制動抵抗	積 載 荷 重		
	0 k G	100 k G	200 k G
0 ( )	0.7(s)	0.7(s)	0.7(s)
3 ( )	1.7(s)	1.5(s)	1.9(s)
6 ( )	1.8(s)	2.3(s)	1.9(s)
9 ( )	2.3(s)	2.5(s)	1.9(s)
オープン	3.0(s)	3.1(s)	3.0(s)

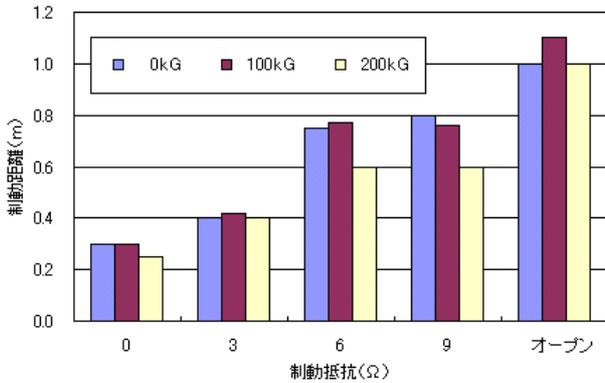


図8 制動抵抗と制動距離（高速度設定）

制動抵抗を、0 ( )とした場合、停止時間が短く積載荷物の荷崩れを起こす可能性があることがわかった。また、制動抵抗をオープンとした場合は停止時間が長く、制動距離も1 m以上となり、電動台車を操作する人の停止位置感覚と違いが大きく危険であることがわかった。このため今回の試作機では制動距離が短く、荷崩れが起きなかった3 ( )を採用した。積載荷重が200 kg 場合、制動時間・制動距離とも定格積載時に比べ少なくなっている。これはタイヤの変形が大きくなり床との接触面積が増え、摩擦が大きくなり早く停止してしまうためと考えられる。

3.2.3 電動台車としての特性

高加速度・高速度の設定および制動抵抗 3 ( )において、積載荷重 100 kg で運転した場合の速度・電流・時間の特性を図9に示す。試作電動台車の運転実験は、再現性を考慮し平坦な床面で行った。運転試験では、積載荷重のおもりを重ね方や位置を変え始動・停止を繰り返し行った。その結果、荷崩れやタイヤの空回り等の問題は起こらなかった。ただし、積載荷重を重くしたときは、安全装置

の組み込みが必要になると思われる。今回の試作電動台車は、制御回路にマイコンを用い、マイコンに空き I/O ポートがあり、ソフトウェアの設計のCPU 占有率からもメカニカルスイッチや超音波センサ等の安全装置を組み込むことも容易である。

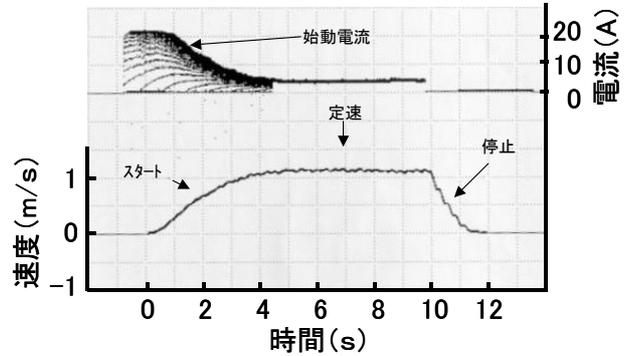


図9 速度と電流

4. まとめ

制御回路にワンチップマイコンを使用した結果、シンプルで安全性・信頼性が高い次のような特徴を持った電動台車が開発できた。

台車の始動・停止時のなめらかな始動・停止を可能とした。

制御回路の部品点数を極力減らしたため、低コスト化・高信頼化を実現出来た。

制御部品の簡素化の結果、ノイズに強い制御回路が実現できた。

距離センサや接触センサ等の安全装置の組み込みが容易になり、電動台車の高付加価値化が可能となった。

将来の機能拡張も可能となった。

また、電動台車の性能測定のため、台車の速度と電動機電流を測定する装置を開発したことにより、最適始動特性および最適停止特性を求めることが可能となった。

今後は、電動車椅子などの福祉機器の駆動源への応用、マイコンと電動機を組み合わせたパワーエレクトロニクス制御技術の技術移転、商品化を図って行く。

この研究は、(株)菅原護謨工業所との共同開発研究で行った。産業技術研究所では主にパワー制御部を、(株)菅原護謨工業所では主に機構部の開発を行った。

参考文献

1) PIC 16F84 データシート  
Microchip Technology Inc 発行(1998).