

# インバータを用いたモータ制御技術の研究

神奈川県立神奈川工業高等学校

小堤 望史

## 1. はじめに

現在、我が国の産業は変革期の真っ只中である。自動車産業では、地球温暖化の原因である温室効果ガス削減が強く叫ばれており、脱炭素化の実現が迫られている。脱炭素化に向け、温室効果ガスのひとつである CO<sub>2</sub> 排出量削減のため、内燃機関から電動化へ技術が置き換わることが予測される。そのため、従来自動車産業を牽引してきた内燃機関自動車から、モータ・インバータ基板を搭載した HV や BEV が今後自動車産業を牽引していく鍵となる。このような背景から、今後自動車産業にはモータ制御技術者が必要不可欠であると考えられるが、現在、産業全体においてモータ制御技術者は慢性的に不足しており今後さらに深刻化する恐れがある。

## 2. 研究目的

本研究では、モータ、インバータ基板の製作およびそれらを搭載した EV カートを用いた競技会へ出場する。また、モータの巻き数、巻き方を変更した実験を行い、モータ特性の理解やインバータによるモータ制御技術の習得を目的とする。図 1 に EV カートを示す。

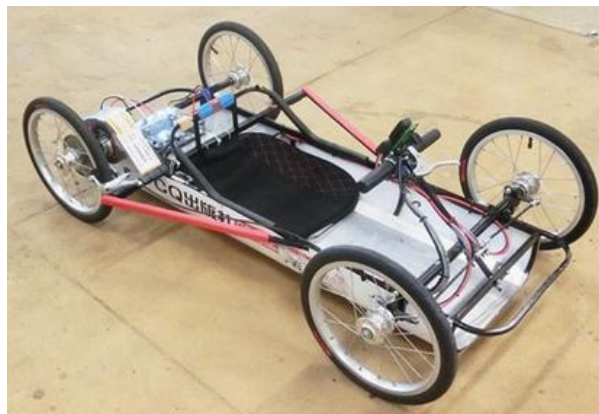


図 1 EV カート

### 3. 研究方法

本研究で使用するブラシレス DC モータを図 2 に示す。また、本研究で使用するモータの巻き方・巻き数を表 1 に示す。競技会には 2 直 3 並列 30T のモータを用いる。

図 3 にインバータ基板を示す。インバータ基板は、消費電力を低減させるため、FET をオン抵抗  $3.3\text{m}\Omega$  のものから  $1.45\text{m}\Omega$  のものに変更した。また今回使用するプログラムは、昨年同様  $120^\circ$  矩形波駆動とした。

モータを制御する上で、今年度は進角制御を行った。進角制御は、モータが回転することにより生じる相誘起電圧と相電流の位相を同じにすることで消費電力を低減しつつ、最大トルクを得ることができる。図 4 に進角制御を示す。



図 2 ブラシレス DC モータ

表 1 モータの巻き方, 巻き数

巻き方	巻き数
6直列	25T
3直2並列	25T
2直3並列	20T、25T、30T



図 3 インバータ基板

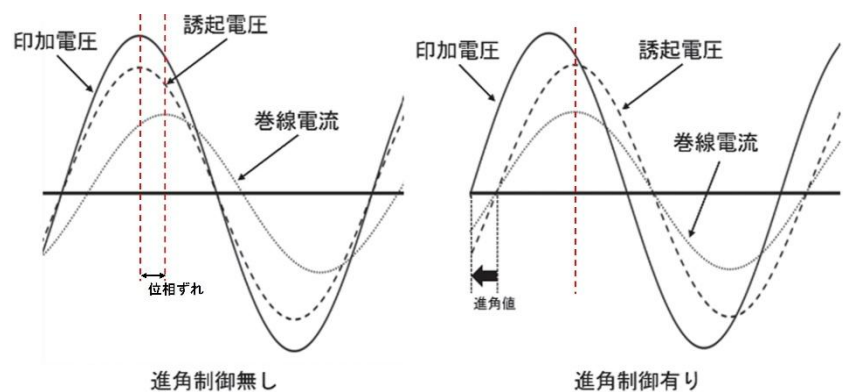


図 4 進角制御

## 4. 電圧・電流測定実験

モータ特性についてさらに理解を深めるためにデータロガーを用い、無負荷時のモータにおける各相に流れる電圧・電流測定実験を行った。図5に実験装置図を示す。実験には、巻き数25Tの6直，3直2並，2直3並の3種類のモータを使用した。

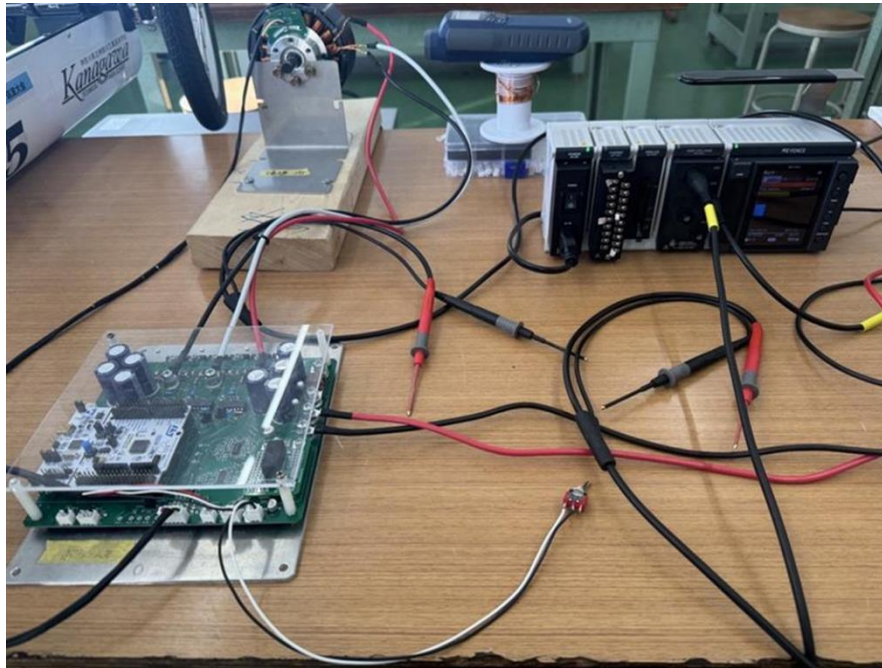


図5 実験装置図

## 5. 研究結果

### 5-1 EV ミニカートレースについて

今回参加したEVミニカートレースの結果を図6に示す。私たちは37チーム中17位であった。高出力型のモータセッティング，消費電力低減による電費向上により完走することができた。しかし，今回の車両・モータセッティングでは，平坦路の加速が悪かった。また，高出力型にしたため，モータ始動時の突入電流増加によりアクセルワークがシビアになった結果，ブレーカーが作動してしまいスタートが遅れてしまった。

Pos	No	Name	Team	CarName	Lap	Total Time	Gap	Best Time	Lap	Ave. Km/h
1	102	舟橋 社之介	明治大学電機システム研究室	preby雷車AMG	10	20'39.032		2'52.922	2 / 10	40.032
2	101	安井 敬憲	TYLAB / TY Racing	Tyun03	9	28'05.566	1Lap	2'56.684	7 / 9	39.309
3	1	藤澤 拓真	明治大学電機システム研究室	Dual Legend	8	30'07.311	2Laps	3'29.115	8 / 8	32.588
4	2	青木 拓人	明治大学電機システム研究室	人皇	8	30'07.311	2Laps	3'29.115	8 / 8	32.588
5	17	内田 輝弘	ふじちゃんず	ふじちゃんず	8	31'42.426	2Laps	3'46.130	3 / 8	30.958
6	12	小澤 謙介	福岡工業大学 電気エンジニアリング学部	F-LF	8	32'12.553	2Laps	3'48.000	5 / 8	30.476
7	10	江崎 雄大	岐阜県立岐阜工業高等学校 / GPU TECH CARTeam	GT-EM100 Ariv	8	32'22.036	2Laps	3'45.686	3 / 8	30.327
8	6	藤野 直輝	専門学校つば自動車大学校	tact-C	8	32'32.907	2Laps	3'44.096	5 / 8	30.157
9	5	山上 謙介	専門学校つば自動車大学校	tact-B	8	32'59.742	2Laps	3'44.143	5 / 8	28.874
10	7	森田 智也	専門学校つば自動車大学校	tact-D	8	34'24.623	2Laps	3'44.208	5 / 8	28.526
11	20	YouTuber (特) (特)EV部		虎丸(特)特	7	28'20.349	3Laps	3'49.168	5 / 7	30.308
12	13	井上 七緒	福岡工業大学 電気エンジニアリング学部	F-LK	7	28'34.993	3Laps	3'57.596	6 / 7	30.049
13	4	糸井 隆輝	専門学校つば自動車大学校	tact-A	7	33'15.257	3Laps	3'43.960	5 / 7	25.828
14	花岡 泰	SAFA236 / EV8-997		1号車	6	28'20.349	4Laps	4'17.316	2 / 6	25.978
8	川口 尚明	福岡工業大学 電気エンジニアリング学部		F-LA	6	32'52.791	4Laps	4'17.302	3 / 6	22.620
33	藤 雄輝	日本電子専門学校 (トビ-101)		JB01-B-S	6	32'57.488	4Laps	4'18.831	4 / 6	22.337
35	山本 朋	神奈川県立神奈川工業高等学校		小径巻線車	6	33'45.081	4Laps	4'39.930	2 / 6	21.812
11	青島 真	福岡工業大学 電気エンジニアリング学部		F-LD	6	33'45.887	4Laps	5'10.221	2 / 6	21.804

図6 EVミニカートレース結果

## 5-2 電圧・電流測定実験

図7に電圧波形、図8に電流波形を示す。電圧波形では、すべての巻き方で電圧値は近似していることがわかる。しかし、6直列においては波形に規則性がみられるが、3直2並、2直3並においては局所的に波形の歪みがみられた。これはモータを手巻きで巻いているため、巻き方の不均一性によるものだと考えられる。電流波形では、6直<3直2並<2直3並の順で電流値は大きいことがわかった。これは、巻線抵抗も同様に同じ順で大きくなるため理論通りの結果となった。

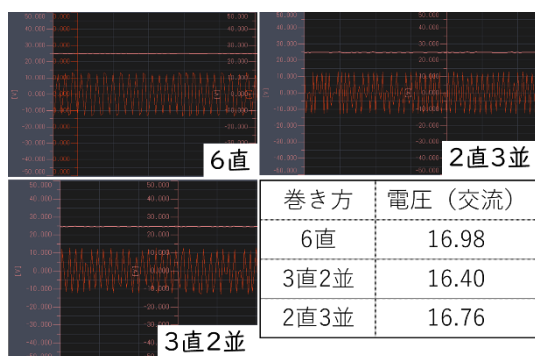


図7 電圧測定実験結果

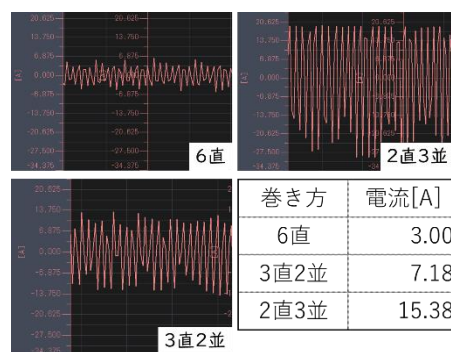


図8 電流測定実験結果

## 6. 考察

モータ始動時の突入電流を低減させるには、アクセル開度に対して電流値を緩やかに上昇させる制御プログラムへ変更することや、サーミスタを挿入した入力回路を設計する必要があると考えた。

加速が悪かった点については、競技終了後にタイヤスポークの大幅なゆがみや破損、回転時の大きい振れが確認でき、転がり抵抗増加により想定される加速が得られなかったと考えた。

電圧・電流測定実験については、回転数やトルクを併せて測定できる実験装置を作製し、モータの各特性の研究を引き続き行っていきたい。

## 7. まとめ

2直列3並列接続のモータは高トルクを得られる一方で、制御面で複数の課題が確認された。今後はコーススペックに適した巻き方、巻き数の選定、周辺デバイスの設計・製作やモータ特性に応じた制御プログラムの実装を目指す。

## 謝辞

本研究は、公益財団法人天野工業技術研究所による2025年工業教育助成金の支援を受けて実施したものであり、ここに深く感謝の意を表す。