



Title	ブラシレスモータを使用した移動機構の開発
Author(s)	
Citation	令和3（2021）年度学部学生による自主研究奨励事業 研究成果報告書．2022
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/85626
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

令和3年度大阪大学未来基金「学部学生による自主研究奨励事業」研究成果報告書

ふりがな 氏名	やまじ かなな 山地 歓菜	学部 学科	工学部 応用理工学科	学年	2年				
ふりがな 共 同 研究者氏名	とくなが たくと 徳永 琢人	学部 学科	基礎工学部 システム科学 科	学年	2年				
	ありやま なおき 有山 直樹		工学部 応用理工学科		2年				
	こんどう しゅんすけ 近藤 俊介		工学部 応用理工学科		2年				
	り やんちゅん LIYANCHUN		工学部 応用理工学科		2年				
	にかいどう なつみ 二階堂 夏海		理学部 物理学科		2年				
アドバイザー教員 氏名	増田 容一	所属	工学研究科						
研究課題名	ブラシレスモータを使用した移動機構の開発								
研究成果の概要	研究目的、研究計画、研究方法、研究経過、研究成果等について記述すること。必要に応じて用紙を追加してもよい。(先行する研究を引用する場合は、「阪大生のためのアカデミックライティング入門」に従い、盗作剽窃にならないように引用部分を明示し文末に参考文献リストをつけること。)								

1. 研究目的

配送システム等の速さが求められる場面では、倉庫内を迅速かつ正確に移動する車輪式移動ロボットが必要であり、特に車輪を駆動するモータの選定が設計の重要なファクターである。一般的に用いられる DC モータに比べてブラシレスモータには、高効率、過負荷の際に停止できる安全性、消耗品であるブラシがないため長寿命[1]、低速から高速まで定格トルクがほぼ一定といったメリットが存在する。一方で、DC モータはブラシレスモータに比べ安価、専用の駆動回路が不要で制御が簡単といったメリットが存在する。トルク特性が異なるため、短距離ならブラシレス、長距離なら DC モータが優秀であると予想される。そこで実際にブラシ付き DC モータ(RS-775GM)を用いた場合とブラシレスモータ(RoboMaster M3508 P19)を用いた場合を実際に比較した。

2. 設計・理論

2-1. 機構

3 輪オムニホイールを移動機構として採用した。理由は、全方向への並進運動や回転運動を自由に行えるためである。既存のギヤドモータを用いた同じサイズの 3 輪オムニホイールの移動機構にブラシレスモータを搭載し、その動作性能の比較を行った。機体の構造材として主にアルミ角管、MDF、締結部材などを用いて作成した。

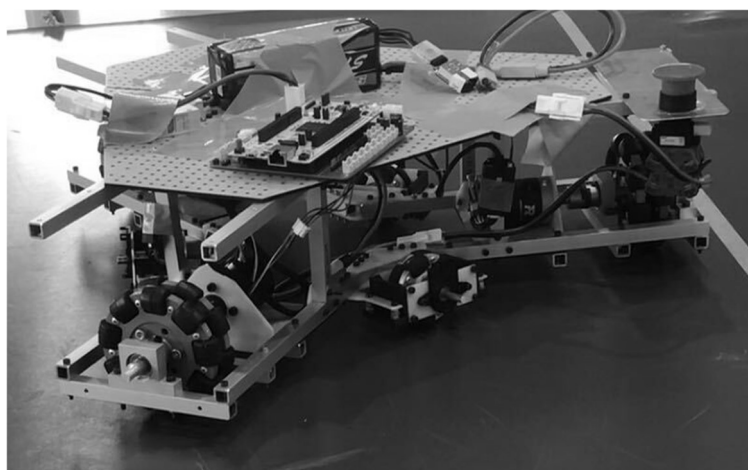


図 1 ブラシ付きモータを用いた機体の外観

2-2. 回路

NUCLEO-F767ZI マイコンボードを差し込むことで、CAN 通信を行えるメイン基板を作成した。ブラシレスモータを用いた移動機構については、RoboMaster M3508 P19 ブラシレスモータと専用の速度コントローラである C620 を組み合わせて電流制御を行った。速度コントローラはメイン基板と CAN 通信によって接続した。DC モータを用いた移動機構については、STM32F303K8T6 マイコンを用いて DC モータの制御を行うモータドライバ基板を作成した。モータドライバ基板はメイン基板と CAN 通信によって接続し、受け取った値によってモータの出力を変更する。

2-3. 制御

本研究では実験方法に詳しく記述してあるが、複数回、回転運動のデータを取り角速度と時間の関係を調べ考察を行った。このとき各車輪の角速度 φ_i は

$$\varphi_i = L\dot{\theta} \quad (i = 1, 2, 3) \quad (1)$$

で表される。ここでは L は機体の中心から車輪までの長さ、 θ は初期状態からの機体の角度を示す。ただし角度は 0 から 2π をとるものとする。

実験では、5 秒間だけ一定の出力を与え回転運動を行う。その後出力を 0 とし、慣性回転させた。単純な精度を比較するため PID 制御などは行っていない。

2-4. 実験の理論

モータの理論式は次の式で与えられる。 v :電圧 J, B :モータ固有の定数 w :角速度

$$v = J \frac{dw}{dt} + Bw \quad (2)$$

この微分方程式を初期条件 $t = 0$ のとき $w = 0$ 、 $t = \infty$ のとき $w = w_n$ (w_n は定常角速度) の条件のもとで解くと

$$w = w_n(1 - e^{-\alpha t}) \quad (3)$$

を得る。式(1)よりそれぞれの車輪の角速度と三輪オムニの角速度との間に線形性が成り立つ。したがって三輪オムニの角速度についても式(3)同様の関係が成り立つ。

式(3)について実験から以下の方法で定数 w_n, α を得る。

(i) w_n の決定

得られたデータの中で最大の角速度 w を w_{max} とする。次の式で w_n を決定する。

$$w = w_{max} + 0.1 \quad (4)$$

ここで右辺第二式において、対数をとった際に 0.1 を足さないと真数条件を満たさないため適当な数 0.1 を足した。 0.1 という値は類似の実験レポートを参考にした[2]。

(ii) α の決定

次に α を決定する。ここでは w_n が決定されていることを仮定する。式(3)を変形することで

$$1 - \frac{w}{w_n} = e^{-\alpha t} \quad (5)$$

となる。実験から得られた式(5)左辺の時間応答を片対数グラフにプロットし、その直線の傾きから α を決定できる。このとき初期条件($t = 0$, $w = 0$)から点(0,1)を通る条件を課す。

3. 実験方法

初めに周囲から安全な距離を取って機体を回転させる。足回りにブラシレスモータを用いたものとブラシ付きモータを用いたものの 2 種類の機体を用いる。また、それぞれの最大の出力で実験を行う。それぞれの機体で用いる各モータの出力は前述した通り全て等しく、また一定である。尚、前述の通り出力は 5 秒間のみ行う。この回転の様子はビデオ撮影しておく。回転の試行回数はそれぞれの条件に対して 5 回である。すなわち試行回数は全部で 10 回である。

全ての試行が終了したら撮影したビデオを観察し、機体が 3 分の 1 回転するごとにかかった時間を記録する。その際に音の変化により出力が終わったタイミングを把握できるので、その分は記録しない。

4. 実験結果

最大出力でのブラシ付きモータを用いた機体が 3 分の 1 回転するのにかかった時間を表 1 に示す。ただし一列目を除き単位は[s]とする。

表 1 ブラシ付きモータを用いた機体が 3 分の 1 回転するのにかった時間

総回転数[回転]	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
1/3	0.364	0.399	0.400	0.400	0.400
2/3	0.233	0.233	0.233	0.233	0.200
1	0.233	0.200	0.201	0.200	0.200
4/3	0.200	0.201	0.233	0.201	0.233
5/5	0.201	0.233	0.200	0.233	0.200
2	0.200	0.167	0.200	0.200	0.200
7/3	0.200	0.233	0.199	0.200	0.201
8/3	0.199	0.199	-0.799	0.199	0.199
3	0.233	0.201	0.200	0.201	0.200

同様に最大出力でのブラシレスモータを用いた機体が 3 分の 1 回転するのにかった時間を表 2 に示す。

表 2 ブラシレスを用いた機体が 3 分の 1 回転するのにかった時間

総回転数[回転]	1 回目	2 回目	3 回目	4 回目	5 回目
1/3	0.467	0.467	0.499	0.500	0.500
2/3	0.233	0.200	0.235	0.233	0.233
1	0.267	0.233	0.233	0.234	0.233
4/3	0.200	0.234	0.266	0.233	0.234
5/5	0.300	0.233	0.200	0.233	0.233
2	0.200	0.234	0.234	0.233	0.233
7/3	0.233	0.266	0.266	0.234	0.233
8/3	0.233	0.234	0.233	0.267	0.234
3	0.268	0.233	0.234	0.266	0.267
10/3	0.333	0.233	0.267	---	---
11/3	---	0.267	0.233	---	---

(単位は秒)

時刻はそれまでに 3 分の 1 回転するのにかった時間の合計として求めることができる。また 3 分の 1 回転を所用時間で割ることで各時刻での機体の角速度を得られる。これより、各試行における式(3)中の w_n を表 3 に示す。尚、以降では式(3)は前述のようなモータの角速度に関する式ではなく機体の角速度に関する式であるものとする。

表 3 各試行における w_n の値

試行回数[回目]	ブラシ付きモータでの $w_n[\text{rad/s}]$	ブラシレスモータでの $w_n[\text{rad/s}]$
1	10.6	10.6
2	12.6	10.6
3	10.6	10.6
4	10.6	9.08
5	10.6	9.08

したがって、定常角速度 ω_n について標準偏差を用いて表すとブラシ付きモータでは $(1.10 \pm 0.05) \times 10 [\text{rad/s}]$ 、ブラシレスモータでは $(1.00 \pm 0.04) \times 10 [\text{rad/s}]$ になる。

前述したように式(5)の右辺の値を縦軸、始動してからの経過時間を横軸として縦軸のみが対数スケールである片対数グラフを描き、近似直線を引くと(3)式の $-\alpha$ がその傾きとして現れる。ただしこの近似直線は(0,1)を通るものとする。ブラシ付きモータとブラシレスモータについて実際に作成したグラフをそれぞれ図2、図3に例示する。

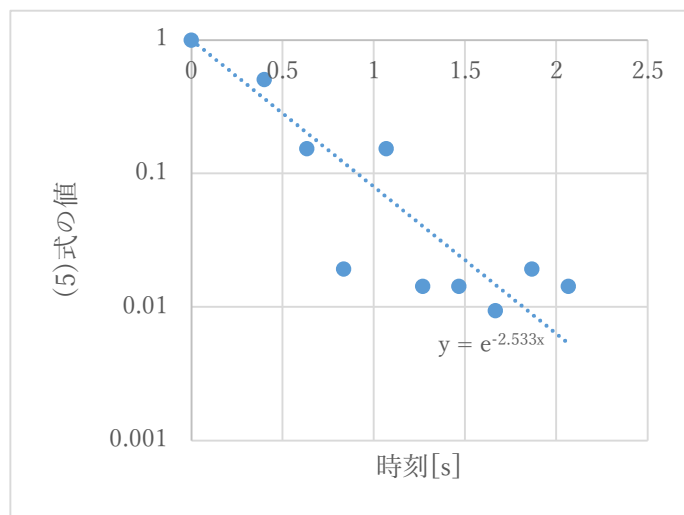


図2 ブラシ付きモータでの式(5)モデルにおける結果

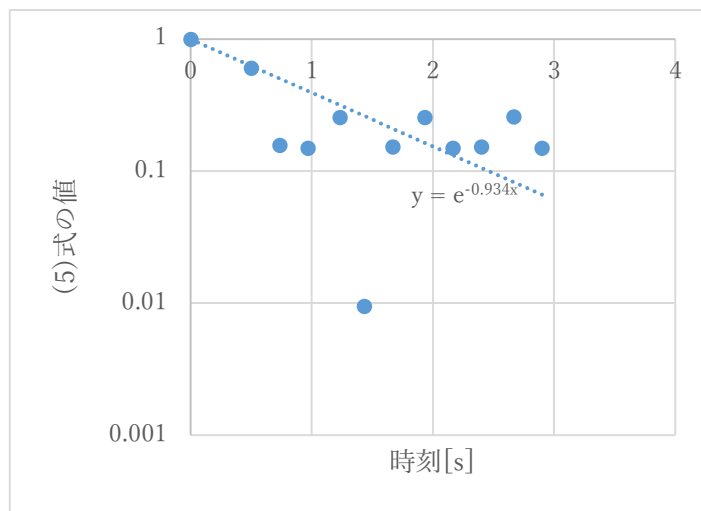


図3 ブラシレスモータでの式(5)モデルにおける結果

同様にしてすべての試行について片対数グラフを作成して α を求めると次の表のようになる。

表4 各試行における α の値

試行回数[回目]	ブラシ付きモータでの α	ブラシレスモータでの α
1	2.40	1.31
2	1.32	0.92
3	2.53	0.93
4	2.50	1.99
5	2.70	2.25

したがって α を標準誤差を用いて表すとブラシ付きモータでは 2.2 ± 0.2 となり、ブラシレスモータでは 1.4 ± 0.3 になる。

5. 考察

定常状態での機体の角速度は(3)式の w_n として現れる。今回使用したモータについては結果の項で述べた通り、 w_n はブラシ付きモータを用いる方が大きくなる。したがって最高速度の観点ではブラシ付きモータを用いる方が長距離の移動に適しているといえる。

一方で定常状態に至るまでの早さは(3)式の α として現れる。今回使用したモータについては結果の項で述べた通り、 α はブラシ付きモータを用いる方が大きくなる。したがって加速度の観点でもブラシ付きモータを用いる方が短距離の移動、すなわち機敏な動きに適しているといえる。

6. 展望

今回は機体の回転運動のみ実験しているが、直線運動での実験も試みられた。しかしブラシレスモータを使った移動機構は直進すること自体ができなかった。原因としては各モータへの出力にタイムラグが生じていたことが考えられている。研究者はブラシ付きモータの扱いには習熟していたが、ブラシレスモータは初めて扱う者が多かった。よってこのタイムラグは改善の余地が見込まれる。今回の実験ではブラシ付きモータを用いた移動機構の方が加速度と最高速度において優れているという結果となったが、タイムラグが解消された場合は異なる結果となった可能性がある。

また、今回 2 種類のモータは別々の機体に取り付けた。一方は競技用の機体の再利用であったのに対し、もう一方は前者を模して急増したものであった。すなわち今回の実験結果にはモータのみならず機体自体の個体差の影響が表れている可能性がある。

以上のように今回の実験には技術的な課題が残った。これらを克服することより正しい性能評価を得ると共に、ブラシレスモータの可能性を探っていきたい。

7. 謝辞

本研究を進めるにあたり、ご指導をいただいたアドバイザー教員の増田容一先生に感謝致します。また、実験フィールドの展開に協力して下さった大阪大学 Robohan の皆様に感謝します。

参考文献

[1] 制御用小形電動機の最近の動向

https://www.jstage.jst.go.jp/article/ieejjournal1888/106/4/106_4_289/pdf-char/ja

[2] ブラシレス DC モータの等価回路を用いた通電角度変更時における特性の検討

<https://gair.media.gunma-u.ac.jp/dspace/bitstream/10087/11404/1/15804097%E5%B1%B1%E6%9C%AC%E7%BF%94%E5%B9%B3.pdf>