

クリップモーターの実験課題の応用性と評価

石原 学^{*1}, 加藤 康弘^{*2}, 田中 昭雄^{*1}

Evaluation of the experiment Curriculum in the clip motor car

Manabu ISHIHARA, Yasuhiro KATO and Akio TANAKA

To study the interaction between electricity and magnetism, a paper clip electric motor is one of the most popular teaching materials. The function of the electric motor is based on the interaction between electricity and magnetism. The paper clip electric motor is built with a permanent magnet and a coil by winding the copper wire several times and creating loops. However the simplicity of making a coil does not allow plenty of scope for student's activities. In this paper, we analyze the velocity characteristics concerning the magnetic power of a paper clip motor car. The experiment results enable us to create the various types of paper clip electric motor car. The experimental classes showed that the variety of the clip motor car stimulates the students' creativity.

KEYWORDS: clip motor, clip motor car, velocity characteristics, curriculum model

1. はじめに

本学電気情報工学科では、平成 17 年より実験カリキュラム¹⁾の改定により低学年を対象としたレポートでは、ノート形式・観察実験を中心に実施してきている。これは従来の高専教育と入学してくる中学課程のカリキュラムのギャップからくるものの緩衝的な意味合いも含めて再編成したものであった。電気工作の一つとして、低学年から利用されるものに電気磁気学の基礎を使ったクリップモーターがある。本学でも、電気情報工学科の学生を対象にした実験として平成 17 年度より観察実験として組み入れている。電気と磁気を理解するために、中学生の理科での導入や大学の基礎物理実験など幅広い学齢に適応されている^{2, 3)}。

ものをつくり・動作させ・観察をする観点から評価できるものの、成果物としてのクリップモーターの評価に難点があった。そこで数年前より議論をしてきていたが、昨年度の 2012 年 3 月に実施された科学甲子園において、クリップモーターカーが製作課題として出題された⁴⁾。製作された結果で評価を問うもので、クリップモーターの動作のみならず、全体の構成にも工夫が必要な課題となっている。この問題は従来の我々の方向性と一致していた。そこで本論では、従来のクリップモーターの製作からモーターカーとした場合の教材化の可能性について述べる。

*1 電気情報工学科(Dept. of Electrical and Computer Engineering), E-mail: {ishihara/atanaka}@oyama-ct.ac.jp

*2 技術室(Technical Office), E-mail:kato@oyama-ct.ac.jp

2. クリップモータの背景

モータに利用される原理や法則を扱う教科としては、中学校理科や技術・家庭科が挙げられるが、これらの教科で広く利用されている教材の一つとしてクリップモータ^{5, 6)}がある。クリップモータは最も基本的な直流モータであり、その長所として、回転の原理を簡潔に例示できる点、安価に製作が可能である、そして簡単に回転の様子を観察できる点などが挙げられる。その一方で、クリップモータが最小限の部品で構成できるために、生徒はマニュアルに沿って組み立てるだけになってしまいがちである点、回転力が小さいために大きな装置を動かすための動力源としては利用できない点などが短所とし指摘されて、本学科でも同様な課題が指摘されていた。中学では、新学習指導要領第1章総則第1教育課程編成の一般方針において、「主体的に学習に取り組む態度を養い、個性を生かす教育の充実に努めなければならない。」と明記されていること、また、同第4指導計画の作成等に当たって配慮すべき事項2(2)として「各教科等の指導に当たっては、体験的な学習や基礎的・基本的な知識及び技能を活用した問題解決的な学習を重視するとともに、生徒の興味・関心を生かし、自主的、自発的な学習が促されるよう工夫すること。」と明記されていることから、クリップモータを教材として扱う上で、生徒がモータに工夫を加える余地が少ない点が最大の問題となっている。クリップモータは、電気と磁気の間接的な関係を明らかにし、モータの仕組みを説明する際に有効な教材であるので観察実験には最適であるものの、実験の自由度や新しい考案・工夫には難点があった。そこで、クリップモータの製作において生徒の個性を反映するような要素があることが望ましいとして、作成するコイル形状を変化させるなどの工夫が行われている⁷⁾。

3. クリップモータカー製作の概要

課題としては、①表1の材料を利用してクリップモータを構成する。一覧を表1に示す。②①で作成したクリップモータを動力源として車体を動かす。③車体の動いた距離で評価を行う、方式とした。図1に設計図を示す。ボディーの材質は、プラスチック段ボールを利用している。クリップモータで動作させることから軽量で耐久性の点から採用した。ボディーの重さは10cm×10cmで

約5gである。

表1 部材

竹ひご	15 cm
輪ゴム	2 個
クリップ	2 個
電池ボックス	1 個
プラスチック段ボール	1 枚
磁石(ネオジム)	1 個
単三電池	1 本
単三電池ケース	1 個
車輪(ハブ)	4 個

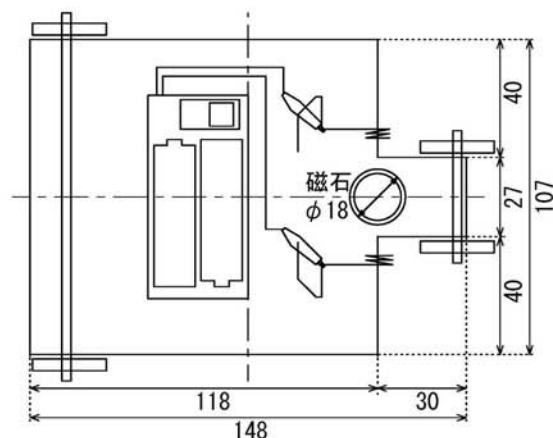


図1 クリップモータカーの外形寸法

4. クリップモータカーの特性

4. 1 クリップモータの磁石の力の関係

クリップモータのコイル径をφ15mm一定とし、巻数を20.5巻とした。磁石の力をNo.1(64mT)、No.2(127mT)、No.3(185mT)およびNo.4(238mT)の4種類とした。ここでは磁石の力は磁束密度としている。磁束密度はNo.1に対してほぼ2倍3倍4倍となるものを選択した。こうすることで、コイルを基準とした場合の磁石の力との関係を観ることが出来る。各磁石で10回の試走をおこなった。この実験では、クリップモータが磁石の力の変化により完走できるかどうかを確かめた。完走した場合は完走時間を記録した。また、途中で10秒以上停止した場合は、距離と停止時のタイムを記録することとした。表2に磁石の力の変化による動作を示す。表では、完走した場合のデータを記載している。

表2の結果から、No.3番(185mT)の磁石において完走率が100%となっている。No.4では、磁石の力が強すぎてコイルの軸を変形させ磁石に吸引され、動作不良におちいる傾向が見受けられた。

また、No.1・No.2 では、コイルのトルクが車輪部に十分に伝わらないために完走できないものがあった。

表 2 完走データ

磁石 No.	完走率	完走時平均タイム
1(64mT)	60%	00:47.2
2(127mT)	80%	00:36.7
3(185mT)	100%	00:17.5
4(238mT)	50%	00:26.6

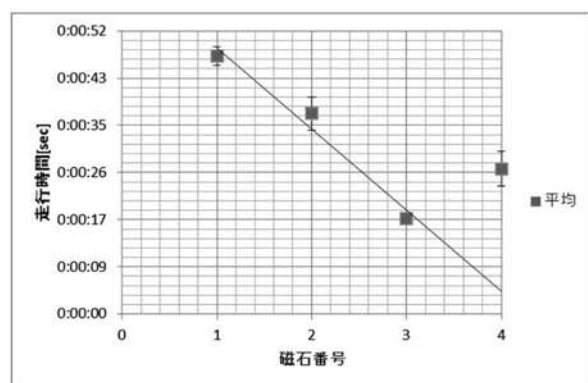


図 2 磁石と完走時間の関係

完走したクリップモーターカーの走行時間と磁石の力の関係を図 2 に示す。磁石番号の No.4 は磁石の力が強すぎてコイルの変形を引き起こすので完走率が低く、磁石と完走時間の関係が得られないと考え直線近似式から除いている。No.1 から No.3 までは、磁石の力の大きさと完走時間はほぼ比例関係にあった。直線近似式は完走時間の偏差内に収まっている。コイルの形状教材を作成した例でも、磁石の力を大きくするとほぼ力は比例関係にあることが指摘されている⁵⁾。本実験でも同様な傾向が得られ、この特性を利用することで磁石の力と走行時間の線形性の確認ができた。

4. 2 クリップモータの巻数について

4.1 の実験で一番良い結果であった、磁石 No.3、コイル 20.5 巻を基本として、コイル 10.5 巻とコイル 30.5 巻にて実験を行った。結果は、10.5 巻ではトルク不足から完走率は 0 であった。また、30.5 巻では、一度停止したものの、もう一度動き出すほどのトルクはあるが、コイル自体の重さからくる回転数の低下や軸ブレからか、タイムは遅くなることがわかった。走行実験では、停止せず

に完走できたもの 20%、停止したが完走できたもの 50%、完走できないものは 30% であった。表 3 に巻数変化の表を示す。

次に、磁石を強くして巻数を減らすことで、高い回転数を得ることについて実験を行った。これは、軸のブレを少なくすることの可能性として考え、磁石 No.4 とコイル 10.5 巻について実験を行った。結果としては、完走できたときは良いタイムが得られるものの、少しでも抵抗が発生すると停止してしまい、完走率は悪くなることが分かった。これは、コイル自体の慣性モーメントが低下し、いわゆるフライホイール効果が小さくなったことによると考えられる。

表 3 巻数の変化による完走

巻数	完走率	完走時平均タイム
10.5	0%	—
20.5	100%	00:48.5
30.5	70%	01:33.1
10.5(No.4)	40%	00:30.5



図 3 試作したクリップモーターカー

最後に、継続動作について検討した。本実験では最良値を得ている磁石 No.3、コイル 20.5 巻での実験を対象とした。その結果、完走率 100% と同等であったものの、完走時間が最適値設定 17 秒であったものが 48 秒と大きく異なる。これは、使用した輪ゴムの表面にゴミが溜まってきた事が原因で、以前ほど摩擦が得られなかったからではないかと考えられる。すなわち、同じ摩擦を得るためにはゴムを強く張らなければならないため、回転数が低下し軸ブレも大きくなる傾向にある。

輪ゴムの寿命は、40回の走行程度であり、一回の実験時間毎に交換が必要になることが予想される。図3に試作したクリップモータカーを示す。

4.3 カリキュラム試案

実験手順として、

- ①エナメル線を電池に巻き付けてコイルを製作する。
 - ②紙やすりを用いてコイルの片端を全面、もう一端を半面だけ削る。
 - ③クリップを伸ばして、固定器にコイルをセットする。固定器は磁石とコイルの下部との距離が約3mmになるようにする。
 - ④モータ部と電池を接続し、回転の可否を調べる。
 - ⑤ボディーの製作と各部の取り付け。
- 以上の手順として進行する。評価は、時間内に指定距離を完走する。完走した場合は完走時間の早いものが上位となる。

コースは、全長240cmで幅30cmとする。

次に、自由要素として、

- ①磁石（磁束密度）の選択として4種類。
- ②巻数の選択として4種類。
- ③磁石からコイルまでの距離の選択。
- ④ボディー形状の自由度

上記を選択させ装置を作製し観察させ、記録し報告させるなどが考えられる。

今回は議論していないが、使用する電源電圧についても配慮が必要であった。使用したのは、単三形ニッケル水素電池（SANYO エネループ）であるが、充電が十分でないと動作しない可能性があり、また動作させると電圧降下が急速に進むことが分かった。

5. まとめ

現在授業展開しているクリップモータは、観察実験として、コイルの径・コイルの巻数を変化させたコイルを作製し、磁石（磁束密度）の変化などを追加してその変化を観察し報告させ、ものづくりや工夫を体験する機会を提供している。しかし、個人作業が多くチームワーク力の育成について弱点があった。今回のクリップモータカーは、グループとしてものづくりに取り組む機会を与えることができると考えられる。

また、今回の実験結果より、

- ①磁石：185mT（15φ）
- ②巻数：20.5巻

が最良の組み合わせとして選定できた。この組み合わせであれば、ほぼ完走できる可能性を示したことで、実験時における指導指針を作ることができる。

また、上級学年においては、コイルと磁束密度や磁界解析などの理論解析を導入することで複数の教科を取り込む課題とすることができる。

参考文献

- 1) 鈴木真ノ介, 田中昭雄, 今成一雄, 石原学: 学習意欲の向上を目指した電気情報工学実験の改変, 論文集「高専教育」, 第30号, pp.305-309 (2007.3)
- 2) 第1回科学甲子園, (独法) 科学技術振興機構 (2012.3)
- 3) [http://www.cep.osaka-u.ac.jp/files/new_program_development_projects/201110171132/201110171201\(2012.9現在\)](http://www.cep.osaka-u.ac.jp/files/new_program_development_projects/201110171132/201110171201(2012.9現在))
- 4) 文部科学省, 中学校新学習指導要領 (2008.3)
- 5) 加藤 和男, 渡辺 雅浩: 製作/ 調整容易な手作りモータ教材の開発: 指導ボランティアテキストを兼ねて, 第19巻, pp.13-20, 電気学会研究会資料. FIE, 教育ボランティア研究会 (2006)
- 6) 楠田純一: 究極のクリップモーター (左巻健男・内村浩 編著: おもしろ実験・ものづくり辞典), pp.217-219, 東京書籍 (2002)
- 7) 江口 啓, 櫻井 康平, 畑 俊明: クリップモータのコイル形状に関する回転特性の解析, 静岡大学教育学部研究報告. 教科教育学篇, 43, p. 135-149 (2012.03)

Appendix

試作で得られた実測値の一部を示す。すべて完走できた磁石 No.3 でコイルφ15mm である。

表A 磁石 No.3 の実測値

磁石No.3 (φ18mm×3.0mm 185mT 2.957kgf) コイルφ15mm, 20.5回巻				
回数	距離[cm]	タイム	止まった回数	終了時電源電圧[V]
—	—	—	—	1.36
1	240	00:16.40	0	1.35
2	240	00:16.52	0	1.34
3	240	00:17.06	0	1.34
4	240	00:17.24	0	1.33
5	240	00:16.96	0	1.32
6	240	00:17.52	0	1.32
7	240	00:19.40	0	1.31
8	240	00:18.26	0	1.31
9	240	00:17.36	0	1.31
10	240	00:18.64	0	1.30

【受理年月日 2012年 9月27日】