

琉球大学学術リポジトリ

電気測定と分解で学ぶ電気モータ動作に関する体験
授業－モータはどのようにして回転するの？－

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部 公開日: 2013-06-26 キーワード (Ja): キーワード (En): brushed DC electric motor, electrical measurement and dismantlement, middle school student 作成者: 小野寺, 清光, Onodera, Kiyomitsu メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/26599

電気測定と分解で学ぶ電気モータ動作に関する体験授業

—モータはどうして回転するの？—

小野寺清光*

Experimental practice and lecture about the working principle of electric motors with electrical measurement and dismantlement

— How do electric motors work in practice? —

Kiyomitsu Onodera

Abstract

Experimental practice and lecture entitled “How do electric motors work in practice?” has been offered for middle school students to ascertain the working principle of electric motors. At the first setout, electric motors mounted in all sort of electric devices in our house or on the streets are counted out to impress students how deeply they have penetrated in our daily life. Adopting the Mabuchi FA-130RA electric motor, which you would typically find in a toy, the electric current and the voltage of a motor have been measured. Subsequently the operation principle, how electricity and magnetism work together to spin the motor, and the electric electromotive force which relates to an electric generator have been explained. At the second period, the Mabuchi motors have been disassembled by the students themselves to confirm the structure of an armor, a commutator and brushes to keep a motor spinning. Moreover, by replacing the original ceramic magnets to stronger neodymium magnets, the important relation between strength of the permanent magnet and the rotation speed has been found out experimentally. As questionnaire surveys carried out after the lecture show that 90% of the students get interested in electric motors, the students might experientially comprehend the working principle of electric motors.

Index term : brushed DC electric motor, electrical measurement and dismantlement, middle school student

I. はじめに

私たちの日常生活の中では、様々なところで電気モータが活躍している。家電製品から、輸送機器、生産設備、更には最新の情報通信機器に至るまで有らゆるものに利用され、気づけば家の中や街の中はモータで溢れている。モータは電気機器のキーコンポーネントなのである。今日の人々の生活はモータなしでは全く機能しないとんでも

過言ではない。生徒に親しみのあるモータと言えば、小学校で習うクリップモータや、玩具やロボコンでお馴染みのマブチモータである。ロボコンでマブチモータを使用することで、初めてモータの存在に気づく生徒も多いと考えられる。

高専ロボコンから始まったロボット競技大会は、高校・中学校などの中等教育へと広がり、全国高等学校ロボット競技大会、創造アイデアロボットコンテスト全国中学生大会など、様々なロボコン

* 琉球大学教育学部技術教育専修

が展開されている^[1,2]。中学校においては、様々な技術課題に対して生徒自身が試行錯誤を繰り返し、解決へのアプローチを模索するため、実践的・体験的な学習活動が期待できるとの指摘がある^[3]。ロボットコンテストに参加する学校も増加傾向にあり、ロボットを通して技術に親しむ生徒も増えていられる。

ロボットは、大別すると頭脳にあたるコントローラ、五感にあたるセンサ、そして関節を駆動するアクチュエータからなる。このうち、アクチュエータの要は勿論モータである。19世紀半ばが起源とされ、その歴史は百年を超えるモータであるが、一時代前までは、汎用のモータと言えば、整流子モータと誘導モータのみであった。1980年代頃より、マイクロコンピュータ、半導体センサ技術、パワーエレクトロニクス、電子制御技術などの進展で、メカトロニクスにおける総合的な技術としてモータが飛躍的に進化し、用途に応じた様々なモータが開発され活躍している。しかし、モータの根本的な原理は変わりなく、マブチモータさえしっかり抑えていれば、最新のモータの動作も理解することができる。

本論文では、「モータはどうして回転するの?」と題し、中学生を対象に、マブチモータを中心としたモータ動作に関して実施した体験授業について報告する。生活で身近なモータとの関わり、マブチモータの電気測定や分解を通して、モータのしくみを体験的に習得する実験実習を行い、最後に最新のモータに関する概観についても述べる。

II. 授業内容

体験授業は、琉球大学教育学部附属中学校3年生20名に対して実施した。簡単な授業計画を表1に示す。授業は2時間（1コマ50分×2）であり、1時間目は直流モータの電気測定と回転のしくみに関する解説、2時間目は直流モータの分解を通して、内部構造の把握と簡単な改良とした。図1は授業風景である。以下、体験授業において使用した図表を用いて、実施した内容について示す。

表1. 授業計画

(全2時間、45分×2、休憩10分)

	学習内容
1時間目	①身の回りのモータ（5分） ・リビング、ダイニング、キッチン、町中、自分の部屋 など、身の回りのモータを確認 ②モータ電流電圧測定（20分） ・回転時と静止時の電流電圧測定し、違いを知る。 ・電池の寄生抵抗、モータ等価抵抗を算出。停止時は電力消費が異常に大きいことを体験。 ③モータ動作原理説明（20分） ・モータの基本構造。 ・電磁気の基礎（電流と磁気、電磁誘導）。 ・永久磁石と電磁石。 ・モータの発電能力、起電力算出。
2時間目	④モータ分解、構造を確認(1)（10分） ・電磁石の3極構造、整流子、ブラシとロータの磁界制御のしくみを観察。 ⑤永久磁石と回転速度の関係を知る（15分） ・ネオジム磁石（分解したHDD）を体感。 ・3種の永久磁石（当初磁石、大型フェライト、ネオジム）とモータ回転の対応、永久磁石の位置、極方向の関係を実験。 ⑥モータ分解、構造を確認(2)（10分） ・コイル解き、鉄心コア分解。鉄損との関係を確認。 ⑦モータの種類とその動作原理（10分） ・モータの種類と最近のモータ技術の解説。



図1. 体験授業風景

1. 身の回りのモータ

図2に示すように、私たちの身の回りでは沢山のモータが活躍している。住居内には、時計の針を間欠的に動作させるステッピングモータ、電動歯ブラシや掃除機に使用されて回転数が変わら

る直流モータ（整流子モータ）、そして、エアコンや冷蔵庫、洗濯機、ドライヤーに使用されている交流モータ（誘導モータ）がある。最近のインバータエアコンには半導体技術を駆使したブラシレスモータも使用されている。

れているステッピングモータや、DVD、HDDに使用されているブラシレスモータなどがある^[4]。

身の回りの電気機器には必ずと言って良いほどモータが使用されており、こんなにも沢山活躍している。また、モータには、直流と交流がある。例えば、交流モータは誘導モータなど、直流モータは整流子モータ、ブラシレスモータ、ステッピングモータなどである。どうして直流と交流があるのか、どうやってモータは回転しているのだろうか。



図2. 生活の中のモータ

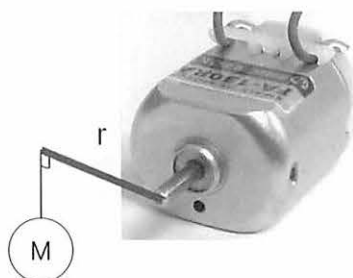
街の中では、電車やエスカレータに使用されている交流モータ（誘導モータ）、自動改札機や券売機に使用されている直流モータ（整流子モータ）、電気自動車、電動バイクにはブラシレスモータが使用されている。また、自分の部屋を見ると、扇風機に使用されている交流モータ（誘導モータ）、携帯バイブレータやプラモデルに使用されている直流モータ（整流子モータ）、プリンタに使用さ

2. モータの電気測定

実際に各自でモータを回転させて電気測定するために、ブレッドボード、直流モータ、アルカリ単三乾電池、電池ボックス（針付き）、テスタを生徒1人に1つずつ配布した。今回使用した直流モータはマブチモータ FA-130RA であり、性能表を図3(a)に示す。マブチモータは中学生ロボットコンテストなどで、最も一般的に用いられる直流モータ（整流子モータ）である。性能表はモータのパッケージに記載されており、生徒と一緒に性能を確認した。

FA-130RA-2270	使用電圧範囲 (Voltage Range)	1.5~3.0V
	適正電圧 (Normal Voltage)	1.5V
性能表	適正負荷 (Normal Load)	0.39mNm (4.0gf·cm)
	無負荷回転数 (Speed at No Load)	8.600r/min
モーターベース・二段式プーリー付	回転数 (Speed)	6,500r/min
マブチモーター株式会社	消費電流 (Current)	500mA
	シャフト径 (Shaft Diameter)	2.0mm
性能は単三マンガン乾電池使用にもとづく (Specification with Manganese AA-cell)		

(a) 性能表



(b) トルク説明図

図3. マブチモータ (FA-130RA) の性能

適正電圧は1.5[V] であるから、単三乾電池1本で動作させることが可能である。次に、負荷(トルク)はてこの原理に関係し、図3(b)のように、モータの回転軸に取り付けた「うでの長さ l 」と「うでの先に直角に加わる重さ M 」の積で定義される物理量である。うでが長いほど、重さ M が大きいほどモータ回転軸に加わる負荷が大きい。性能表の適正負荷は4.0[gfcm] であるから、例えば、うでの長さ1cmに重さ4gが適正負荷に相当する。また、回転数は、1分間の回転数[r/min]で表記され、モータ軸に何もつながらない無負荷では毎分8600回転、適正負荷では6500回転である。

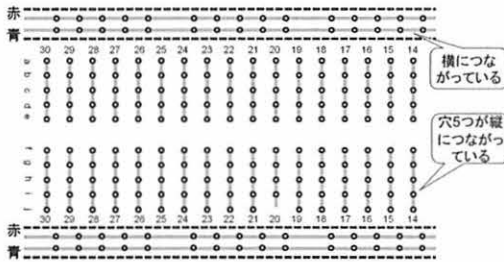


図4. ブレッドモードの構造

● 実験1：電圧測定

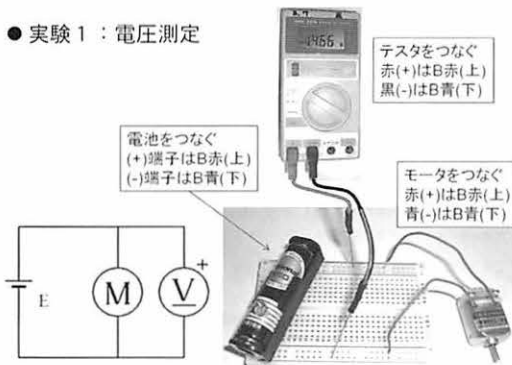


図5. モータ電圧測定

図4は今回使用したブレッドボードの概略図である^[5]。2.54[mm] (0.1[in]) の穴が上下対称にマトリックス状に配置されている(ユニバーサル基板と同じ規格)。ボードの中間部は、縦5列(a~e、または、[~j])が穴の下でつながっている。ボードの上下端2列ずつは、穴の下で横方向に全てつながっており、主に電源またはグラウンドを接続する。今回は、最上段列(赤線)を電

源線に、最下段列(青線)をグラウンド線として使用した。

まず実験1として、図5に示すようにモータ電圧を測定した。ブレッドボードの最上段列(赤線、+)の電源線と最下段列(青線、-)のグラウンド線に単三乾電池1本を接続した。乾電池はピン固定タイプの電池ボックスに搭載し、基板等に直接挿して取り付けた。電池ボックスのリードピッチは50.8[mm] である。テスタの(+) 端子を電源線、(-) 端子をグラウンド線につなぎ、テスタは直流電圧レンジ[V] とする。まずこの状態で、乾電池の電圧を測定した。

次に、マブチモータの赤線と青線をそれぞれブレッドボードの電源線とグラウンド線につなぎ、テスタをモータと並列接続して、モータ電圧測定を行った。モータを回転させた場合(無負荷の回転)と回転軸を指で押さえて停止させた(負荷無限大の回転)場合のそれぞれについて測定した。

● 実験2：電流測定

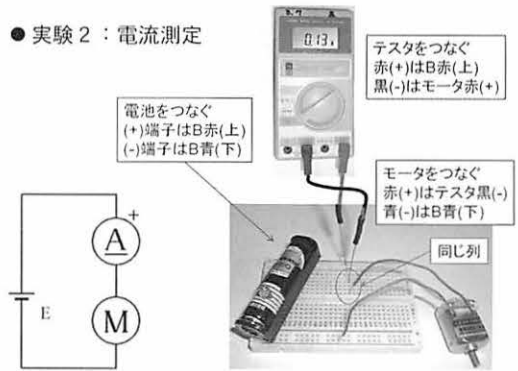


図6. モータ電流測定

実験2として、図6に示すようにモータ電流を測定した。テスタとモータは、ブレッドボード上で直列に接続した。つまり、テスタの(+) 端子をブレッドボードの電源線、(-) 端子をモータの赤線につなぎ、青線をブレッドボードのグラウンド線につなぐ。ここで、モータの赤線と青線は逆でも良い。テスタは電流レンジ[A] (測定レンジはmAではなくAオーダとする) として、モータを回転させた場合と回転軸を指で押さえて停止させた場合のそれぞれについて、電流測定を実施した。

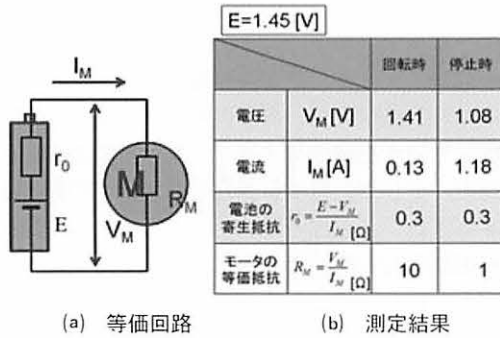


図7. モータ等価回路と測定結果

図7(b)は実験1、2で測定したマブチモータの電圧と電流の結果をまとめたものである。生徒には数字が空欄になった別紙を配布しており、各自の測定値を記入した。図7(b)の値は典型的なもので、乾電池電圧 $E = 1.45$ [V] に対し、回転時の電圧は停止時よりも 0.3 [V] 程度高く、逆に電流は停止時の10%程度に抑えられている。

また、図7(a)の等価回路のように、乾電池の起電力 E と寄生抵抗（内部抵抗）を r_0 、モータの等価抵抗 R_M とすると、それぞれの抵抗値は、次式から計算することができる。

$$r_0 = \frac{E - V_M}{I_M} \dots\dots\dots (1)$$

$$R_M = \frac{V_M}{I_M} \dots\dots\dots (2)$$

上式を用いて、生徒が各自の測定値から抵抗値を計算した。電池の寄生抵抗 r_0 は回転時も停止時もほとんど変わらないが、モータの等価抵抗 R_M は回転時が停止時と比較して10倍にもなっている。つまり、回転しているモータを強制停止すると、抵抗が $1/10$ に小さくなり、電流が10倍にも増加する現象が発生している。

3. モータ動作原理

図8を用いて、モータの回転のしくみを説明する。モータは通常2つの磁石からなり、自由に回転する回転子（ロータ）と、回転子を挟むように向かい合って配置される固定子（ステータ）で構成されている。モータはこの回転子と固定子という2つの磁石の磁力を利用して回転している。

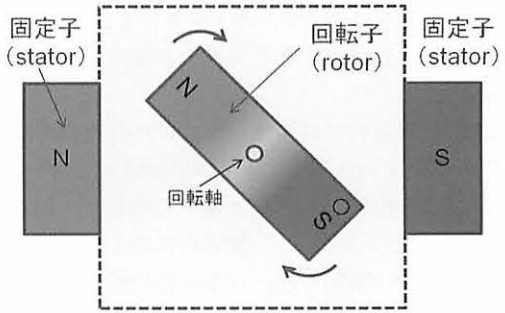


図8. モータの基本構成

磁石にはN極とS極があり、同極間には斥力、異極間には引力が生じる。図8のように回転子のN極が 135° にある場合、固定子との間には斥力が生じ、時計回りに回転する力が働く。しかし、回転子が 90° の位置まで回転し、回転子のN極が固定子のS極に相対すると、異極間に働く引力で、回転は停止してしまう。回転を持続させるためには、回転子または固定子の磁力をオンオフするか、磁力の方向を反転させる必要がある。マブチモータのような直流モータは、固定子は永久磁石のまま、回転子に電磁石を使用し、回転子の磁力を随時反転させることで、回転を持続させている。

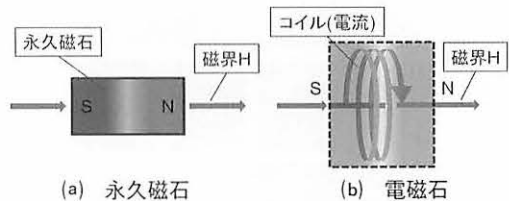


図9. 永久磁石と電磁石の類似性

図9に永久磁石と電磁石の類似性に関する説明図を示す。図9(a)のように永久磁石の周囲には磁界 H があり、方位磁石で調べるとN極から出てS極に入る方向になっている。磁石の近くの磁界の様子は磁力線で表わせる。一方、電流と磁界の間には密接な関係があり、コイルに電流を流すとその回りに磁界ができる性質がある。磁界の向きは電流の進む向きに対して右ねじ方向となる。この現象を利用したのが図9(b)の電磁石である。コイルに電流を流すと磁力が発生するので、永久磁石

と等価な磁石となる。更に、電流を流したときだけ磁力が発生するので、オンオフすることができ、電流の向きを逆にするとN極とS極を反転することもできる。

次に、電磁石には惰性（慣性）の性質がある。「このままでいたい」という現状維持的性質であり、環境変化に対し抵抗し妨げる現象が生じる。つまり、図10のように、電磁石に外から磁界をかけると、その瞬間だけ、コイル内の磁界を一定に保持する電流を流すように電圧が発生する。その後は定常状態に戻る。具体的には、図10(a)のように電磁石の磁界と同方向の外部磁界中では、電流を少なくして自身の磁力を保つようにコイル両端に電圧が発生する。逆に、図10(b)のように逆方向の外部磁界中では、電流を多く流すように電圧が発生する。

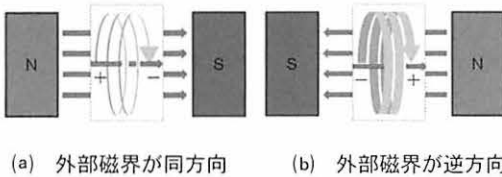


図10. 外部磁界中の電磁石（コイル）

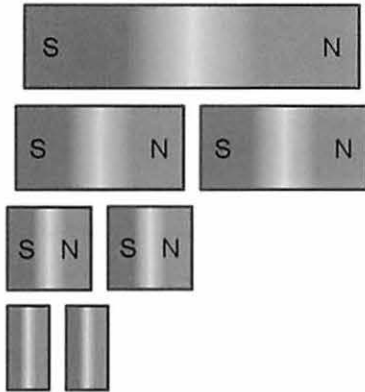


図11. 永久磁石の微細化

図11のように永久磁石を半分に切断すると、切断面にN極とS極がそれぞれ発生し、大きさが半分の永久磁石となる。更にその半分の磁石を半分に切断と、さらに小さな永久磁石となる。どこまで小さくしても永久磁石になるのだろうか？ 極限の原子まで分割してもN極やS極があるのだろうか？

か？

原子は原子核を中心にして、周囲に幾つかの電子が運動している。特定の軌道を取って周回しているわけではないが、太陽の周りを自転しながら公転している地球をイメージした原子模型が分かり易い。そして、原子レベルでは電子の自転に起因するスピンが磁性の担い手となっている。電磁石の磁性の発生源が電流（電子の動き）であったが、永久磁石も電子が磁気のもとなのである。

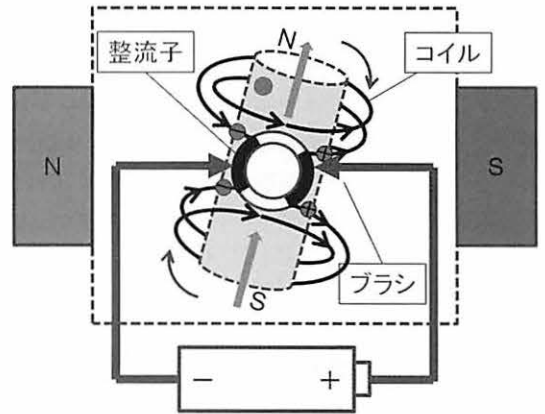


図12. 2極整流子モータの構造

電磁石と永久磁石を用いたモータの中で、最も簡単な直流モータが図12の2極整流子モータである。回転子が電磁石である。電磁石の磁力を反転させているのが整流子とブラシである。整流子は回転軸に取り付けられた2つの端子を有する電極で、回転子と一緒に回転する。回転子はコイルを巻いた鉄心であり、コイルの両端は整流子の各々の電極に接続されている。固定子は永久磁石とブラシで構成されている。ブラシは整流子との接触電極で、電源（乾電池）に接続されている。回転子の回転で整流子の電極とブラシの接触が入れ替わり、コイルへの電流の方向が反転する。その結果、コイルの磁気、つまり電磁石の磁力が反転する。

しかし、回転子の電磁石が2極の場合は、電磁石への電流がオフになって惰性回転する期間があるため、トルク低下と回転むらが発生する。そこで、マブチモータのような商用の直流モータでは回転子の電磁石を3極としている。ガソリンエンジンの多気筒と同じ理屈である。また、整流子とブラシは機械的に電流の方向を反転させる上手

いしくみであるが、ここにも欠点がある。整流子モータは、整流子とブラシが機械的に接触して電流を切り替えるので、機械的接触部分が摩擦して故障の原因となり易い。更に、スパークなどの電磁雑音が発生し、他の電子機器の障害となる場合もある。

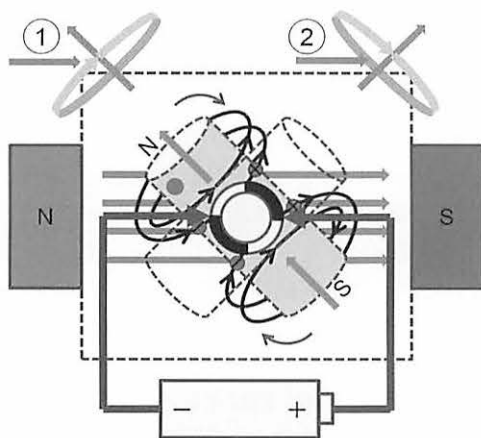


図13. 起電力発生原理

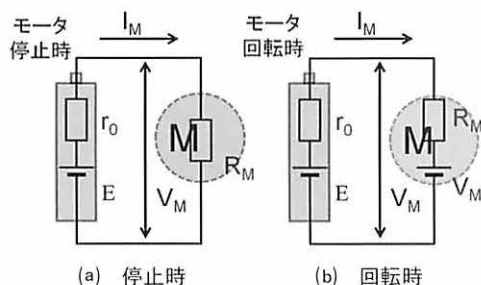


図14. モータの等価回路

次に、電気測定において、モータ回転時と強制停止時で測定結果（図7）が大きく異なった原因について考える。図13に示すように、2極整流子モータで、回転子が時計回りで回転しており、斜め左方向の状態①から斜め右方向の状態②へ回転している場合を考える。ここで、電流の切替はないとする。回転子のコイルの磁界に対して、①の状態では固定子の磁界は弱める方向であり、②の状態では強める方向に働いている。前述のように、回転子の磁界には惰性の性質があるので、①から②への回転子の状態変化で、コイルに入る磁界の

大きさを変えないように、コイル両端には電流を流さないように電圧が発生する。つまり、回転時にはコイルに起電力が発生し、モータは発電機にもなっている。

この起電力を回路図に表わすと、図14(b)のように、モータ回転時には、コイルに電流を流さない方向の起電力として記述できる。マブチモータの電流電圧測定において、回転時に電流が流れ難くなり、見かけ上、モータの抵抗が大きくなったのは、この起電力 V_M が原因である。モータの等価抵抗 R_M が静止時と同じ R_M とすると、図7の値を利用して、起電力は次のように計算できる。

$$V_M = E - (r_0 + R_M) I_M$$

$$= 1.45 - (0.3 + 1.0) \times 0.13 = 1.28 \text{ [V]} \quad \dots\dots(3)$$

モータを無負荷で回転させたとき、乾電池から供給された電圧1.45[V]のうち、1.28[V]分は消費されないので省エネ動作になっているのである。

図15のように、モータが回転すると内部で起電力が発生することを確認する実験を行った。ブレッドボード上に、モータに並列に、2個のLEDを互いに逆方向に接続する。モータの回転軸を指で強く回して、LEDの点灯を確認した。また、モータを逆回転すると、点灯するLEDが替わることも確認した。時間に余裕があった数人の生徒は、乾電池に接続したモータの回転を利用して、もうひとつのモータに起電力を発生させLEDを点灯させる試みをしていたが、起電力が足りず、残念ながら点灯しなかったようである。



図15. 起電力発生確認

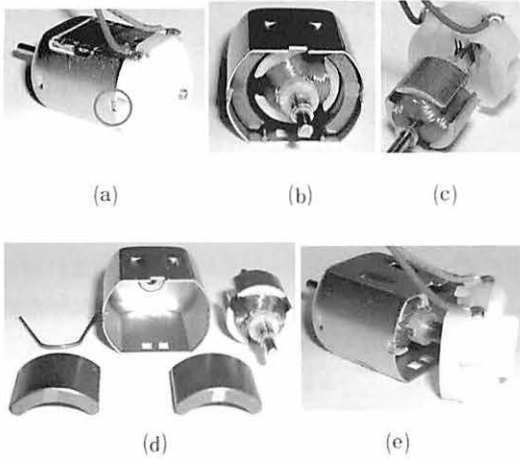


図16. モータの分解（その1）

4. モータの分解

4.1. 分解1

実物のモータを分解することで、これまで説明した永久磁石と電磁石の構造、整流子、ブラシとしくみを確認した。全ての生徒が何らかの形でマブチモータを使用したことはあるが、分解するのは皆初めてとのことであった。分解の手順は次の通りである^[6]。

- i) まず、図16(a)のように、モータ前面の白いナイロン端部キャップを留めているモータケースの爪を起し、端部キャップを取り外す。
- ii) 図16(b)のように、モータケース内を覗いて固定子と回転子の関係を確認する。固定子はフェライト磁石（永久磁石）で、U字のばねでモータケースの両端に固定されている。真中にはコイルが巻きついた電磁石の回転子が配置されている。
- iii) 回転子をモータケースから取り出し、図16(c)のように先ほど取り外した端部キャップの回転軸に組合せ、整流子とブラシ接触の様子や電極反転のしくみを観察する。
- iv) 更に、フェライト磁石も取り外し、モータケースから図16(d)のように全ての部品を取り除く。

4.2. 固定子磁石の置換

生徒たちは、直流モータに接続する電池の電圧を上げる（電流を上げる）と回転速度が上がることを経験的に知っている。そこで今回は、固定子

の永久磁石と回転速度の関係について実験した。

実験に先立ち、まず、強力な永久磁石としてネオジム磁石があることを説明した。例えば、ネオジム磁石は、ハードディスクドライブ（HDD）の磁気ヘッドの位置決めをするアクチュエータ（ボイスコイルモータ、VCM）で使用されている。図17のように、分解したHDD（4台）を生徒に回覧し、如何に磁力が強いか体験してもらった。VCMの上側のネオジム磁石を起して外すのに相当の力が必要である。

まず、実験では、図16(e)のように、固定子であるフェライト磁石を取り除いた状態で、回転子を戻し、端部キャップを取り付け、モータケースの爪を再度かきつけた。次に、図18(a)のように、取り除いたフェライト磁石（オリジナル）をケースの外から貼り付け、モータ端子に電池を接続してモータの回転を確認した。永久磁石と回転子の距離が遠くなったため、回転子に有効な磁力が弱くなり、回転トルクは弱く、回転しない場合もあった。次に、図18(b)のように、断面積20mmφ、磁束密度600[G]とオリジナルの磁石よりも形状と磁束密度が大きいフェライト磁石（大）を用いて、回転を確認した。オリジナルの場合よりも若干早い回転が確認できた。更に、図18(c)のように、断面積13mmφ、磁束密度2000Gのネオジム磁石を用いて、回転を確認した。ネオジム磁石では、高速回転が得られ、生徒も驚いていた。ここで、回転子の鉄心寸法は13mmφ×8mmであり、ネオジム磁石で完全にカバーできる断面積であることから、ネオジム磁石ではフェライト磁石（大）と比較して、約3倍の磁界が回転子に作用していると考えられる。

最後に、2つのネオジム磁石の位置を上下に変える、左右の磁石の1つだけ裏返して磁極を反転する、2つの磁石を同時に裏返して回転が反転することを確認する、左右の磁石の1つ除去して、回転が持続するか、回転速度は変化するかなどの実験を行った。

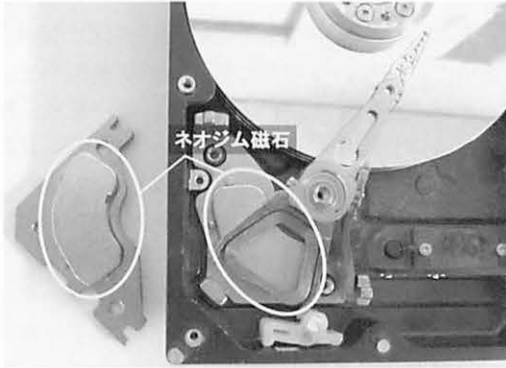


図17. HDD内のネオジム磁石

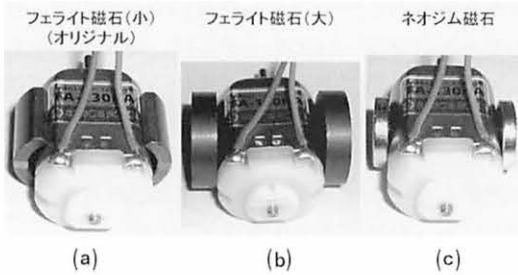


図18. 固定子磁石

4. 2. 分解2

図16(d)の状態に戻し、更にモータの分解を続行した。分解の手順は次の通りである。

- v) 図19(a)において、コイル端が整流子電極のどこに接続されているか確認しながら、コイル端をニッパで切断し、コイルを全て解く。コイルは1本約180cmと長いことを確認する。
- vi) 図19(b)はコイルを全て解いた後の状態である。コイルを解いた残りは鉄心コアであり、ひと塊の鉄心ではなく、薄い鉄板の積層構造になっている。通常、コイルに電流が流れると、コイルに発生した磁界が鉄心コアを貫き、鉄板に垂直方向に渦電流が生じる。この電流は熱を発生して損失となるので、流れにくいように薄い鉄板の積層構造になっている。因みに、逆転の発想で、この磁界と渦電流の効果を積極的に使用したのがIHクッキングでお馴染みのIH (Induction Heating, 誘導加熱) である。



図19. モータの分解 (その2)

5. 種々のモータ

マブチモータは固定子が永久磁石、回転子が電磁石であった。固定子と回転子という2つの磁石の組合せを変えることで種々のモータを構成することができる。しかし、少なくとも1つの磁石は電磁石でないとモータにならない。

固定子を電磁石にすると、交流モータやブラシレスモータとなる。図20の同期モータは交流モータの一種で、回転子が永久磁石で、固定子が電磁石となっている。固定子は三相交流 (3つの交流が等間隔でずれている) で切替えている。電力会社が供給する交流の商用電源は周波数60 [Hz] なので、回転速度はその周波数で決まり、3600 [rpm] で固定である。

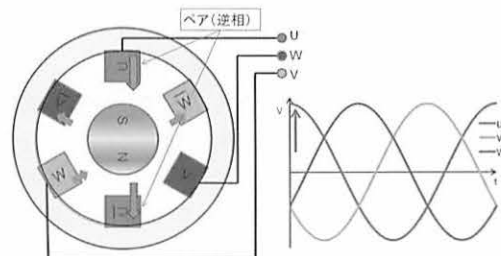


図20. 同期モータの構造

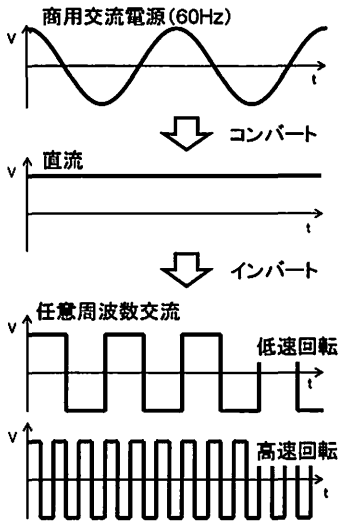


図21. ブラシレスモータの信号

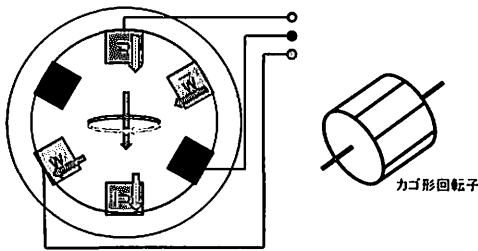


図22. 誘導モータの構造

最近のパワーエレクトロニクスの進展で、この同期モータも回転数を変えられるようになった。ブラシレスモータといい、直流モータの一種でもある。基本構造は同期モータと同じであり、図21のように、商用電源の交流を直流に変換（コンバート）し、半導体 IC を使用したスイッチングで、直流を任意の周波数の交流にする。この直流を交流に変換する回路をインバータという。このインバータ技術を使用すると、周波数が低ければ低速回転に、周波数が高ければ高速回転になる。

誘導モータは交流モータの一種で、やはり固定子が電磁石からなり三相交流で切替えている。回転子は磁石ではなく、導体でできたカゴ形である。固定子の作る磁界の中で回転する導体には電流が流れ、その電流がまた磁界を作るので、固定子の電磁石の切替えに追従して回転することが可能

となる。

一昔前（30年位前）までは、モータは二者択一であった。回転数を可変にしたければ整流子モータ（直流モータ）を使用する。例えば、電車、掃除機、ミキサーで使用されていた。一方、回転数が不変ならば誘導モータ（交流モータ）を使用する。例えば、エアコン、洗濯機、冷蔵庫など多くの家電製品で使用されていた。しかし、近年のマイクロコンピュータ、半導体センサ技術、パワーエレクトロニクス、電子制御技術などの進展で、メカトロニクスにおける総合的な技術としてモータが飛躍的に進化し、用途に応じた様々な新規モータが開発され活躍している^(7,8)。パワーエレクトロニクスを活かしたインバータ技術で速度可変の誘導モータ（ブラシレスモータ）は、電車や電気自動車の輸送機器で主流になっている。また、高度なコンピュータ技術で電子制御するサーボモータはロボット技術では欠かせない。強力な永久磁石が出現したことで、HDDのボイスコイルモータなど、モータの省エネ化も進んでいる。

Ⅲ. アンケート

図23に、受講した琉球大学教育学部附属中学校3年生20名に実施したアンケートの結果を示す。図23(a)は理解度の結果である。1から4の4段階で、1“難しかった”、2“難しい部分が多かった”、3“やや難しかった”、4“わかりやすかった”である。50%の生徒が3または4と回答しているが、2と回答している生徒も30%以上いる。少々内容が難しかったと考えられる。2時限という短時間に多くの内容を盛り込み、少々内容が難しかったことが一因と考えられる。

図23(b)は興味度の結果である。1から4の4段階で、1“興味持てなかった”、2“あまり興味持てなかった”、3“興味持てた”、4“非常に興味持てた”である。90%の生徒が3または4と回答しており、モータに関して興味を持ってもらったと考えられる。特に、普段から使用しているモータでも分解するのは生徒全員が初めてであり、興味を持った要因と考えられる。また、強力磁石とモータ回転の関連を知ったことも良い体験であったようである。

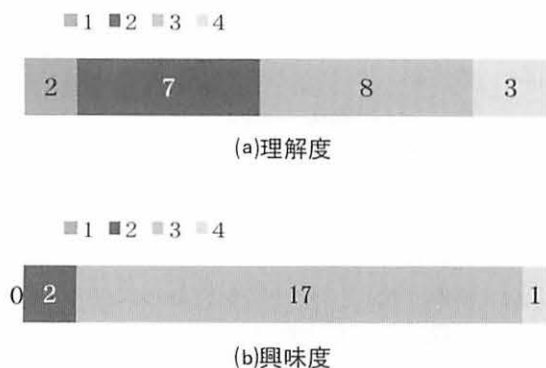


図23. 授業内容の理解度と興味度

以下に、授業全体を通しての生徒感想を示す。

「モータは時計やドライバーなど身近にあるのでびっくりした。また、モータの中には永久磁石と電磁石があることが分かり面白かった。モータを分解してみて、中の磁石をより強いものにどんどん代えるとモータの回転速度が速くなってすごく面白かった。」

「モータについて詳しく説明してくれたけど難しくて良く分からなかった。ちゃんと分かるころもあった。最後のモータの分解はとても面白かった。」

「なかなか難しい内容が多かったけど理解できる部分もあった。測定やモータの分解など色々なことができて良かった。普段の授業ではモータの分解はしないので、この機会に皆で楽しくやることができて良かった。理科で習った磁石（磁界）など復習もできた。」

「最初はついて行くのが大変だったけど、2時間目のモータの分解はなんとなく分かった。思っていた以上に面白かったし楽しかった。」

「モータが磁石で回っていることを初めて知った。しかも小さなモータの中に沢山の部品が詰まっているので驚いた。」

「モータのしくみは少し知っていたけど、モータを分解して調べたのは初めてでとても驚いた。また、昔のモータと比べて現在のモータがどれだけ進化したか、便利に鳴ったか知ることができた。」

「現在のモータが交流モータや直流モータから様々な派生してできたことを初めて知った。」

「難しところもあったけど楽しかった。どんな

ものにモータが使われているかも分かったので良かった。」

「モータを分解したり、しくみについて詳しく知ることができて面白かった。」

「モータが磁石で動いていると知ってとてもびっくりした。」

「説明は分からないところも多かったけど、実際にモータを分解して、磁石を取り出して、なんとなくモータが動くしくみが理解できた。」

「モータのすごさや日常のなかにあるモータのすばらしさが分かった。」

「将来に役立つか分からないけど一応勉強になった。内容はとても難しかったけど、モータのしくみは理解できたので良かった。」

「モータがどうやって回っているかが分かった。初めてモータを分解して、中に永久磁石と電磁石があることが分かり、いつも使っているものなのにすごいと思った。モータの外に磁石を付けても回転することを知り、とても勉強になった。」

「今日一番印象に残ったのはモータを分解したこと。技術の授業でモータを使ったことはあったけど、中身は一度も見ることがなかったのでとても面白かった。モータの中のコイルがとても長いので驚いた。」

「身の回りにモータが沢山使われていることを知りびっくりした。また、モータの中身を分解して、コイルを解いたり、磁石を外したりして、思ったより中身がぎっしりつまっていたので驚いた。」

「モータの中に永久磁石など色々な部品があって面白かった。技術が楽しくなった。」

「分解するときは危ないところもあったけど、けがをしないでできて良かった。」

「今日はモータの分解が一番楽しかった。みるみるうちに知らない部品が次々と出てきてやるのが楽しかった。中のコイルは180cmもあって、私の身長より長くてびっくりした。また、ハードディスクの中の磁石はとても強くてすごかった。でも、私はその強い磁石を外すことができてしまったので、女の子として恥ずかしかった。」

「分かるころもあったけど、理解するのが難しかった。しかし、モータが回転するしくみなどの重要なところは分かったし、モータの分解などは十分楽しめて、とても面白かった。」

IV. まとめ

琉球大学教育学部附属中学校3年生20名を対象に、「どうしてモータは回転するの?」と題し、マブチモータを中心とした、モータのしくみを学ぶ体験授業を実施した。

1時間目では、モータが使用されている電気機器を具体的に挙げ、身近な生活の中にモータが如何に浸透しているかを確認した後、マブチモータの電流電圧測定を実施しながら、モータ回転の原理、発電機との関連を解説した。2時間目は、生徒自身が実際にモータを分解して、回転のしくみを確認すると共に、オリジナルの永久磁石に替えて、強力なネオジム磁石を試みることで回転速度との関係を体験的に実習して理解を深めた。また、DCモータの基本構造から出発して、種々のモータのしくみを概観した。

授業後に実施したアンケート調査においても、少々内容が難しかったが、90%の生徒が少なからずモータに興味を持つことができ、良い実習体験であったと考えられる。

謝 辞

本体験授業は、特設講義「第3回 体験!琉球大学一大学の先生方による講義を受けてみよう」において実施したものであり、このような機会を与えて下さいました平田幹夫校長他、琉球大学教育学部附属中学校教職員の皆様に深謝致します。また、体験授業に参加して戴きました琉球大学附属中学校3年生の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1] 森政弘, “ロボコンの人間教育的意義,” 日本ロボット学会誌, 27(9), pp.964-966 (2009).
- [2] 村松浩幸, “ロボット学習を通して形成される生徒の技術観・職業観を把握する意識尺度の開発,” 日本産業技術教育学会誌, 55(2), pp.103-110 (2010).
- [3] 山本利一他, “中学校におけるロボットコンテストの実施状況,” 日本機械学会論文

集 (C), 73 (725), pp.2-9 (2007).

- [4] 松井信行, “電気機器学,” オーム社 (2000).
- [5] 橋本剛, “ブレッドボードで始める電子工作,” CQ出版社 (2007).
- [6] 内田隆裕, “モータが分かる本,” オーム社 (2000).
- [7] 前田勉他, “電子機器工学,” コロナ社 (2001).
- [8] 古橋 武, “パワーエレクトロニクス工作と理論,” コロナ社 (2008)