

第 1 章

直流機

コイルを貫く磁束が変化するとコイルには起電力が発生する、電磁誘導という現象が起こることは、すでに「電気回路」や序章で学んだ。この現象を利用すると、直流電力を発生できる。また、コイルに直流を流すと、導体には力が働く。この現象を利用すると、動力を発生できる。

直流電力を発生させる直流発電機と、直流電流によって動力を発生させる直流電動機は、まとめて直流機といい、わたしたちの生活にも大きく役立ってきた。これら直流機の構造・特性・用途などについて学ぼう。

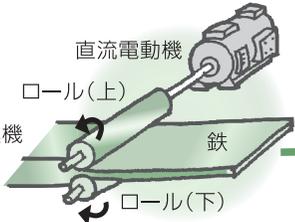
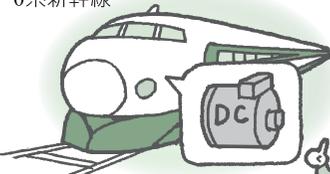
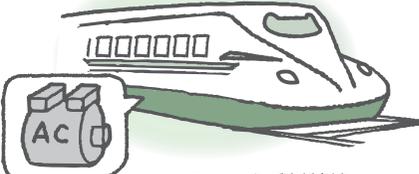


- ◆ 定格出力 2.4 kW， 定格直流電圧 36 V
- ▲ 貨物運送用電動トラックの直流電動機

- 直流機 1
- 直流発電機 2
- 直流電動機 3
- 直流機の定格 4

直流機の移り変わり

直流機は、回転速度やトルク制御が容易である。この特性により、大形機から小形のモータまで、速度制御が必要な分野で大量に使われてきた。しかし、パワーエレクトロニクス技術の躍進によって、その実用例が変わってきた。以下に直流機の変遷の概要を示す。

過去	現在
<p>直流発電機</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 大電力を必要とする電気鉄道などで利用されてきた。 <p>直流の電気エネルギーを発生</p> <ul style="list-style-type: none"> ・変換ロスが大きい ・大形設備 <p>機械エネルギー (回転運動) 入力</p>  <p>出力</p> <p>電気エネルギー (直流)</p>	<p>現在</p> <ul style="list-style-type: none"> ● パワー半導体デバイスを用いた電力変換装置により、交流を直流に変換して利用している。 <p>回転機から静止器へ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・高効率変換 <small>▶p.240</small> ・小形化  <p>入力</p> <p>電気エネルギー</p> <p>出力</p> <p>電気エネルギー</p>
<p>直流電動機</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 圧延機や電気鉄道などの産業用機器の駆動用電動機として用いられてきた。  <p>直流電動機</p> <p>ロール(上)</p> <p>圧延機</p> <p>鉄</p> <p>ロール(下)</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 新幹線が開業したときの0系新幹線には直流電動機が使われていた。 <p>0系新幹線</p>  <p>回転速度・トルクの制御が容易</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 直流電動機は、さらに小形・高性能になり、自動車の部品や電動工具など、さまざまなところで活躍している。  <p>パワーウインド</p> <p>電動ドライバ</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 大形の直流電動機は、インバータで速度制御が容易になった交流電動機へ交替されている。新幹線などにも、交流電動機が用いられている。  <p>N700S系新幹線</p>

パワーエレクトロニクス技術の躍進

この節で学ぶこと

電力を発生させる発電機と、機械的仕事を発生させる電動機は同じ構造をもつという。なぜ同じ構造なのに発生させるものが異なるのだろうか。また、より大きな電力や機械的仕事を発生させるには、どのように工夫がされているのだろうか。ここでは、直流の発電機と電動機の原理について学ぼう。

5

1 直流機の原理

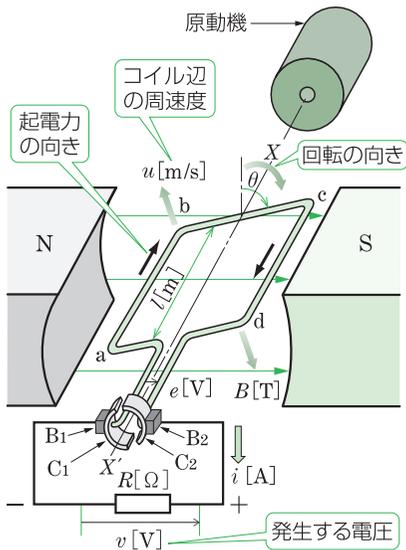
直流の電力を発生させる **直流発電機** と、直流の電力によって機械的仕事を発生させる **直流電動機** をまとめて **直流機** という。

1 直流発電機のしくみ

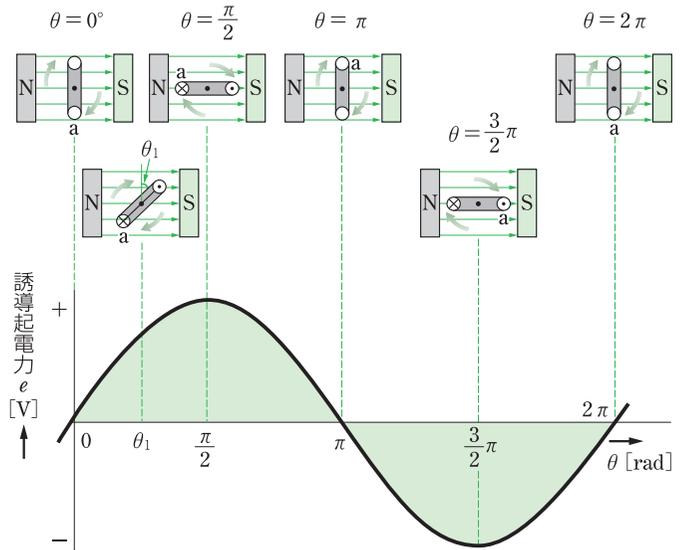
図 1 (a)に示すように、永久磁石の磁極の間に方形コイルを置き、 XX' を軸として **原動機** で矢印の向き（時計まわり）に周速度 u [m/s] で回転させると、**フレミングの右手の法則** によって定まる向きに起電力 e [V] が生じる。このとき、コイル辺 (\overline{ab} , \overline{cd}) の長さを l [m]、平等磁界の磁束密度を B [T]、磁界に垂直な面に対して、コイルの面がなす角度を θ [rad] とすると、コイル辺に誘導される起電力 e [V] は次式で表され、図 1 (b) のような正弦波の交流波形になる。

$$e = 2Blusin\theta \quad (1)$$

- ① 水力・火力・電力などのエネルギーを機械エネルギーに変換する装置のこと。水力発電では水車、火力発電ではタービンがこれにあたる。
- ② 物体が円周上を単位時間あたりに進む距離。周速度 [m/s] = 距離 [m] ÷ 時間 [s]。
- ③ 序章 p.13 参照。
- ④ 磁界の大きさと向きが一定な磁界のこと。
- ⑤ 磁界を切るコイル辺が 2 本なので、コイル全体の起電力は 2 倍する。



(a) 直流電圧発生原理図

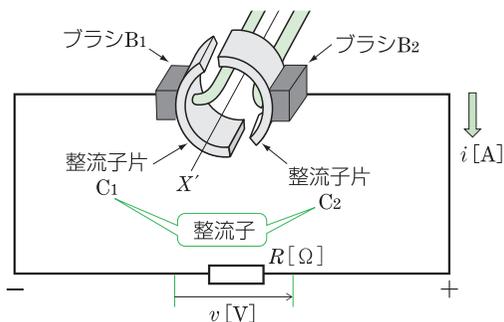


(b) 誘導起電力

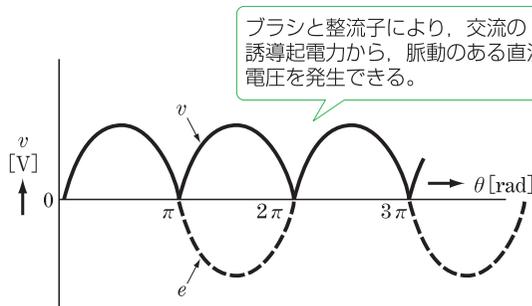
▲ 図 1 直流電圧の発生

図2(a)のように、コイルの先端には半円状の二つの導体 C_1 、 C_2 が接続されており、コイルとともに回転する。 C_1 、 C_2 が、導線に固定されたブラシ B_1 、 B_2 に接触すると、コイルに発生した起電力 e [V] によって、抵抗 R [Ω] には一定方向の電流 i [A] が流れ、その両端には、図2(b)のような脈動電圧 v [V] が生じる。電流の流れを一定方向にする C_1 、 C_2 を整流子片、整流子片の集まりを整流子といい、このように機械エネルギーを電気エネルギーに変換する装置を直流発電機という。

- ① 一般に黒鉛ブラシが用いられる。
- ② 流れの向きが一定で、大きさが周期的、あるいは不定期な変動をともなった電圧・電流のこと。脈流ともいう。
- ③ commutator segment
- ④ commutator
- ⑤ direct-current generator



(a) ブラシと整流子(拡大図)



(b) 整流子を用いたときの脈流電圧 v

ブラシと整流子により、交流の誘導起電力から、脈動のある直流電圧を発生できる。

▲図2 ブラシと整流子の役割

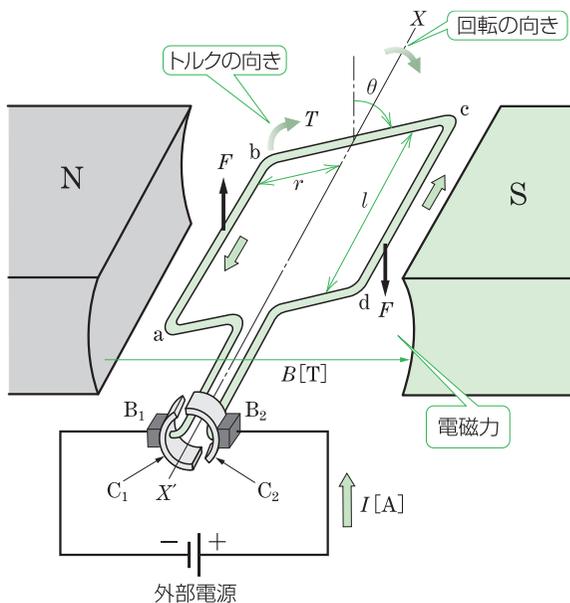
問 1 図1において、コイルが回転している。コイル辺の長さ l は 0.4 m、周速度 u が 30 m/s、磁束密度 B が 0.1 T である。コイルの位置を示す角度 θ が $\frac{\pi}{2}$ rad のとき、発生する起電力 e [V] を求めよ。

- ⑥ 序章 p.11 参照。
- ⑦ 第1章3節 p.37 参照。
- ⑧ direct-current motor

10

2 直流電動機のしくみ

図3に示すように、磁界中に置かれた方形コイルに直流電流 I [A] を流すと、フレミングの左手の法則によって定まる向きに、電磁力 $F = BIl$ [N] が生じる。この電磁力により、 XX' を回転軸として、コイルは時計まわりに回転するが、半周ごとに逆向きの電流が流れると、逆回転してしまう。そこで、整流子片 C_1 、 C_2 とブラシ B_1 、 B_2 によって電流の向きを切り換え、同じ磁極のまえにあるコイル辺に同一方向の電流を流すことで、コイルが回転を続けられるようにしている。このように、電気エネルギーを機械エネルギーに変換する装置を直流電動機という。



▲図3 電磁力・トルクの発生

15

20

25

①
②
以上のように、直流機は発電機にも電動機にもなる。また、滑らかな回転や脈動の小さな電圧を得るためには、コイルの数と整流子片の数を増やす必要がある。

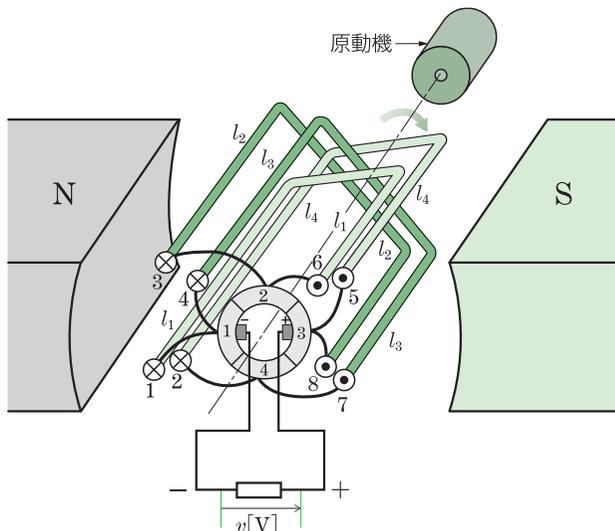
①第1章 p.26 参照。
②複数のコイル辺がある
と、各コイル辺に生じる
電磁力の和は一定になり、
滑らかな回転になる。

問 2 図3において、コイルに $I = 0.5 \text{ A}$ の電流を流した。長さ l が 0.4 m のコイル辺に生じる電磁力 $F \text{ [N]}$ を求めよ。ただし、磁束密度 B は 0.1 T とする。

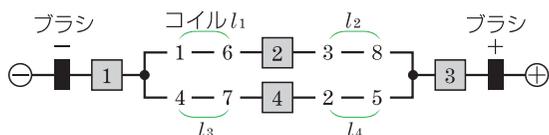
3 コイルが4個の直流機

コイルが4個の場合の直流機の原理を図4に示す。図4(a)のように原動機でコイルを回転させると、それぞれのコイルには、図4(c)の細線および破線のような電圧が発生する。図4(b)のように、コイル l_1, l_2 および l_3, l_4 をそれぞれ直列に接続し、これらの2組のコイル群を並列にブラシ間に接続すると、ブラシ間の発生電圧は、図4(c)の太線で示す $v \text{ [V]}$ のようになり、脈動は小さくなる。

実際の直流機では、多数のコイルと多数の整流子片が接続されているので、脈動はほとんどなくなり、滑らかな直流電圧になる。

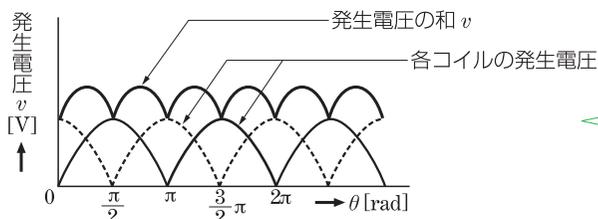


(a) コイルが4個の場合の配置図



(b) 電機子コイルの接続図

1 ~ 4 は整流子片番号。
1 ~ 8 はコイル辺番号



(c) コイルの発生電圧

コイルを多数接続すると、その分、脈動が小さくなる。

▲図4 コイルが4個の直流機 (発電機の場合)

2 直流機の構造

1 直流機の構成

直流機は、固定された部分の固定子と回転する部分の回転子からなる。固定子は**①**界磁および**②**継鉄によって、回転子は**③**電機子および整流子などによって、それぞれ構成されている。

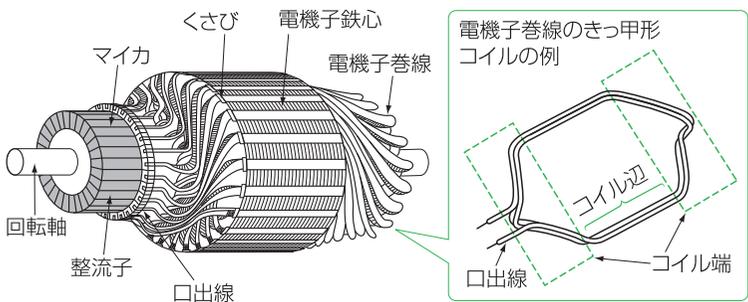
2 固定子の構造

界磁は、図5に示すように、**④**界磁鉄心に**⑤**界磁巻線を施し、これに界磁電流を流して、界磁と電機子とのエアギャップ**⑥**に磁束を発生させる。なお、この磁束を電機子の表面に平等に分布させるために、界磁鉄心には磁極片が設けてある。界磁鉄心は、軟鋼板を積み重ねてリベットでとめ、ボルトで継鉄に取りつけられている。継鉄は、磁束の通路となるばかりでなく、機械の外枠を形づくるもので、鋳鉄または厚い軟鋼板を円筒形に曲げてつくられている。

3 回転子の構造

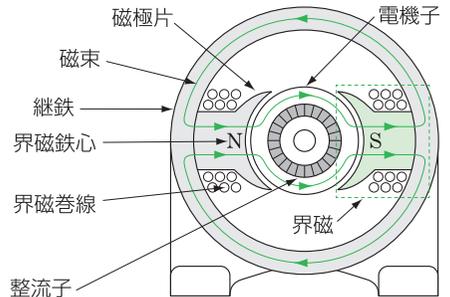
電機子は、図6に示すように、電機子鉄心、電機子巻線および整流子によって構成されている。**⑧**電機子鉄心は、磁束の大きさと向きが周期的に変化する**⑨**交番磁束による渦電流損を少なくするため、**⑩**電磁鋼板を層状に重ねた**⑪**積層鉄心が用いられる。また、その外周には**⑫**電機子巻線を収めるための多数の**⑬**スロットが設けられている。

電機子巻線には、材質としては軟銅線が用いられる。形状はその断面が円形のものとして断面が長方形の**⑭**平角線が多く用いられる。コイルの形は、図6のようにきつ甲形(六角形)が多く用いられ、口出線は整流子片に接続されている。



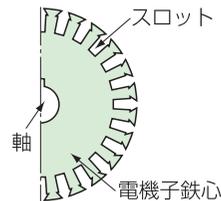
▲図6 電機子の構造

- ① field system ; 磁界を発生させる。
- ② yoke
- ③ armature ; トルクや起電力を発生させる。
- ④ field core
- ⑤ field winding ; 界磁巻線には、絶縁被覆した軟銅線が多く用いられる。
- ⑥ 空隙ともいう。
- ⑦ 厚さは0.8~1.6 mmである。



▲図5 界磁と継鉄

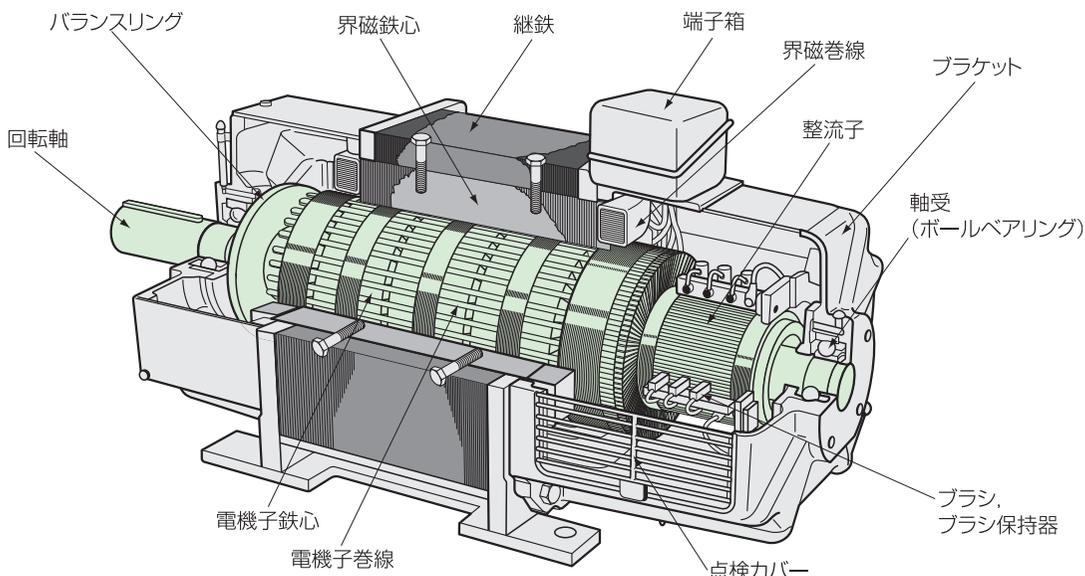
- ⑧ armature core
- ⑨ 時間とともに大きさと方向が変化を繰り返す磁束をいう。
- ⑩ 厚さは0.35 mmまたは0.5 mmである。第2章 p.61 参照。
- ⑪ laminated core
- ⑫ armature winding
- ⑬ slot ; 巻線を挿入する溝のこと。



⑭ 第2章 p.58 参照。

4 直流機の構造

図7は、直流発電機の内部構造の例である。電機子鉄心・電機子巻線・整流子は、回転軸に取りつけられている。軸受には、ボールベアリングを用いて摩擦を少なくしている。界磁鉄心は継鉄に、ブラシはブラシ保持器に取りつけられている。

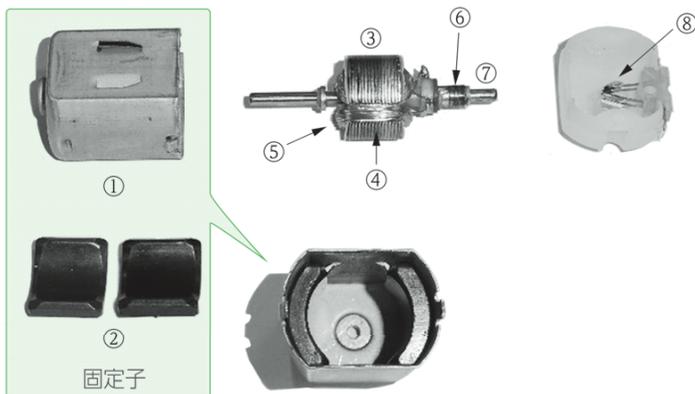


▲図7 直流発電機の構造 (定格：55 kW, 220 V, 1750 min⁻¹)

Let's Try

直流モータを分解しよう

直流機は、発電機にも電動機にもなり、構造は同じである。小形の永久磁石形直流モータを分解して、図7の直流発電機の構造と見比べてみよう。電動機の各部の用語もしっかり覚えよう。



電動字消し器の中にモータが使われている。分解したらまた組み立ててモータを動かしてみよう。

- ① 継鉄 ② 界磁 (永久磁石)
- ③ 電機子 (回転子)
- ④ 電機子鉄心 ⑤ 電機子巻線
- ⑥ 整流子 ⑦ 回転軸
- ⑧ ブラシ

◀図 直流モータの各部

3

電機子巻線法

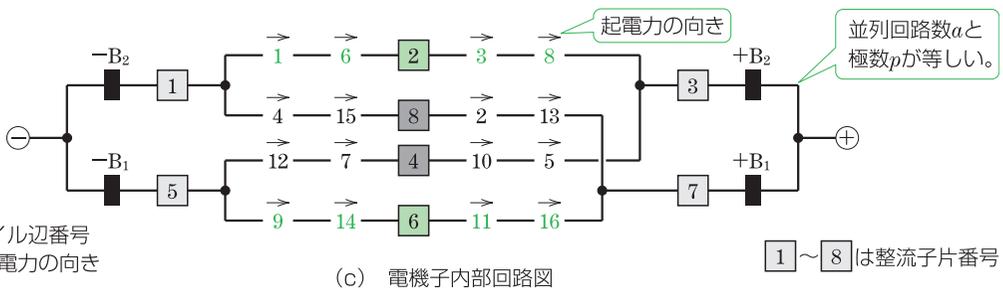
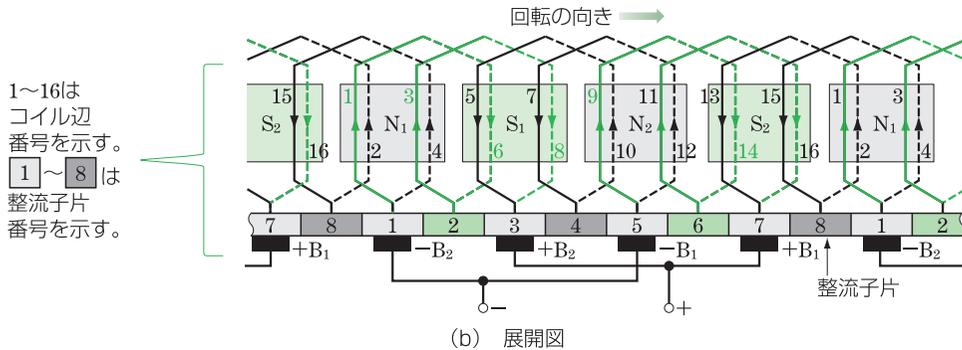
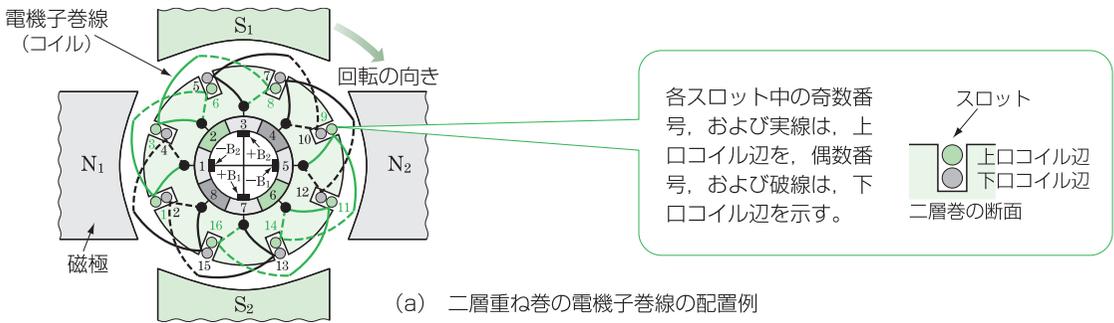
電機子巻線は、図6のようなきつ甲形で、このコイル辺を電機子鉄心のスロットに挿入する。各コイル相互のつなぎ方には、^①重ね巻と^②波巻がある。なお、一つのスロットに、コイル辺を図8(a)のように上下に重ねて2個ずつ入れたものを^③二層巻という。

- ① lap winding
 - ② wave winding
 - ③ double-layer winding
- 5
- ④ 界磁極の数を極数という。図1~4で説明した直流機では、界磁はN極、S極の二つの極からなるので、2極である。
- ⑤ 図8(a)では、NSNSの四つの極で構成されているので、4極である。

5

10

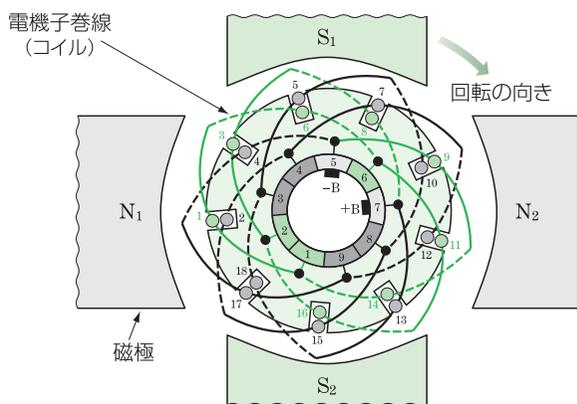
1 重ね巻 図8は、直流機の重ね巻の巻線例である。図8(a)は4極8スロット二層重ね巻の電機子巻線の配置図であり、図8(b)はその展開図である。図8(c)は電機子内部の回路であり、重ね巻では並列回路数 a と極数 p が等しい^⑤。したがって、並列回路が多くなるので、並列巻ともいい、低電圧、大電流の直流機に適している。



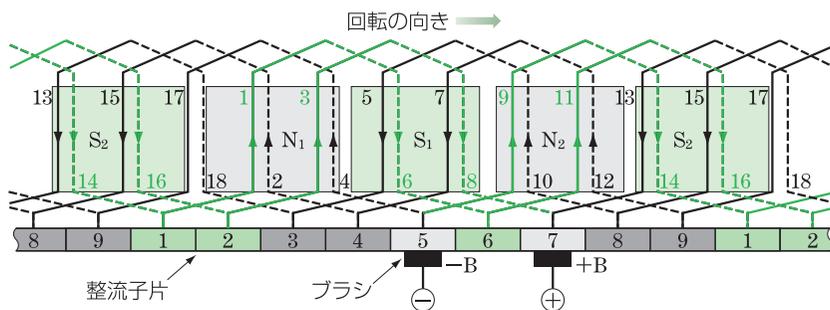
▲図8 重ね巻の巻線の例

2 波巻

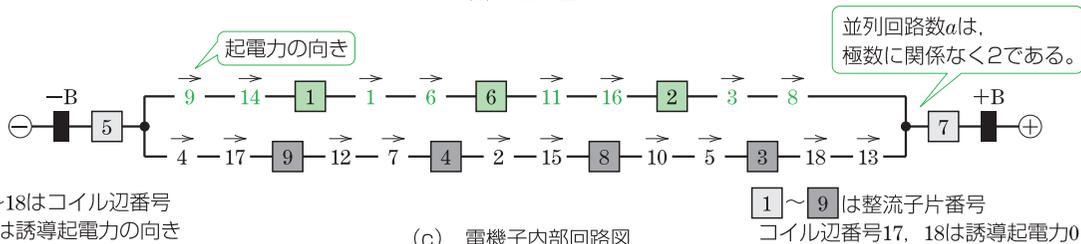
図9は、波巻の巻線例である。図9(a)は4極9スロット二層波巻の電機子巻線の配置図であり、図9(b)はその展開図である。また、図9(c)は電機子内部の回路図であり、並巻では並列回路数 a は極数に関係なく2である。したがって、直列接続される巻線数が多くなるので、直列巻ともいい、高電圧、小電流の直流機に適している。



(a) 二層波巻の電機子巻線の配置例



(b) 展開図



(c) 電機子内部回路図

▲ 図9 波巻の巻線の例

簡単なモータをつくろう

<準備> エナメル線 (直径 0.3~0.4 mm, 約 40 cm),
ゼムクリップ大 2 個 (長さ 29 mm), 単 3
乾電池 (1 個), ネオジム磁石 (2 個), 両面
テープ, 紙やすり, プラスチックダンボール,
ペンチ, はさみ

<方法> ①エナメル線の両端を約 10 cm ずつ残
して, 乾電池に 5 回巻いてコイルをつ
くる。

②ほどけないようにコイルの両端を 2 回
コイルに巻き付けてからコイルを横に
出す。横に出したコイルは 4 cm 程度
のところで両端をペンチで切る。

③片方のエナメル線の被膜を紙やすりで全部はがす。もう一方のコイルは, 半周分だけ被膜
をはがす。コイルの中心とエナメル線の両端が一直線になるように整える。

④プラスチックダンボールに両面テープを貼り, 乾電池を固定する。

⑤ゼムクリップ二つをペンチで完成図のように加工して, 乾電池とクリップが接するように
プラスチックダンボールに差し込む。

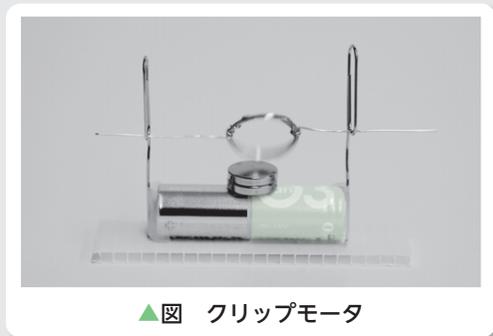
⑥ネオジム磁石を乾電池につける。コイルをクリップに乗せると, くるくると回り始める。

<考察> 回転力(トルク)を増すには, どうしたらよいだろうか。ヒントを参考にして, どのようにし
たら回転力がアップするか, グループ等で考えてみよう。また, 工作したモータを改造して
回転力アップを実際に確かめてみよう。

<ヒント> フレミング左手の法則で説明される電磁力は, $F = BI l$ [N] で表される。コイルの回転力
(トルク)を増すには, いろいろな要素を考えなければならない。

たとえば, 以下の要素を増やしたとき, トルクが増えるか考えてみよう。

- ・磁石の強さ (磁束密度)
- ・電圧 (電流) の大きさ
- ・コイルの回転半径
- ・コイルの巻数
- ・コイルの太さ
- ・回転軸と軸受の摩擦 など。



▲図 クリップモータ

5

10

15

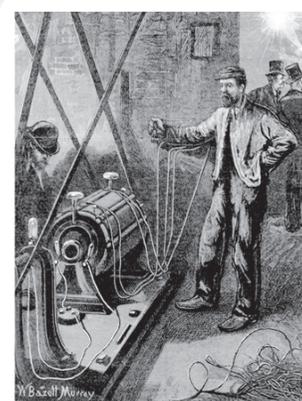
20

25

✦Column 発電機と電動機, 実用化はどちらが先?

実用的な最初の直流発電機は, 1870 年にゼノブ・テオフィル・
グラム (1826—1901: ベルギーの電気技術者) によって製造されたの
だが, 一方の直流電動機は, このときはまだ実用化されていなかった。
しかし, ある偶然によって実用化へ進むことになる。

1873 年, ウィーン万国博覧会にグラムの直流発電機が出品され
ていたときのことである。助手が発電機の出カケーブルを, うっ
かり休止している別の発電機に接続してしまった。そして, それ
に気づかず発電機を動かしたところ, 休止している発電機が突然
回転し始めたのである。発電機は電動機にもなることが, この偶
然により発見され, 実用的な電動機の開発につながったのである。



▲図 グラムの直流発電機

30

35

■ 節末問題 ■

- 1 次の文章の①～⑤に当てはまる語句を語群から選べ。

直流機の構造は、固定子と回転子とからなる。固定子は、，継鉄によって、また、回転子は、，整流子などによって構成されている。

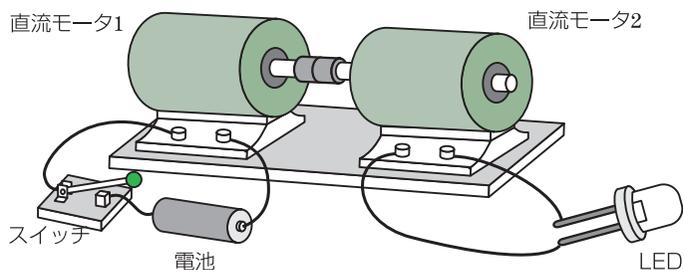
電機子鉄心は、 磁束が通るため、 が用いられている。また、電機子巻線を取り入れるための多数のスロットが設けられている。

六角形(きつ甲形)の形状の電機子巻線は、そのコイル辺を電機子鉄心のスロットに挿入する。各コイル相互のつなぎ方には、 と波巻とがある。直流機では、同じスロットにコイル辺を上下に重ねて2個ずつ入れた二層巻としている。

語群 ア. 鋳鉄 イ. 電機子 ウ. 交番 エ. 一定 オ. 積層鉄心
カ. 界磁 キ. 重ね巻 ク. 直列巻

- 2 直流電動機の回転方向を変えるには、どのような方法があるか。

- 3 図10のように、2台の小形直流モータの軸どうしをチューブで結合し、一方のモータに電池、もう一方のモータにLEDを接続した。電池のスイッチを入れると、LEDはどうか。また、その理由はなぜか。



▲ 図10

- 4 直流機の電機子巻線法には、どのような巻線法があるか。

この節で学ぶこと

機械エネルギーを電気エネルギーに変換する直流機が直流発電機である。ここでは、直流発電機の原理と構造・種類・特性・用途などについて学ぼう。

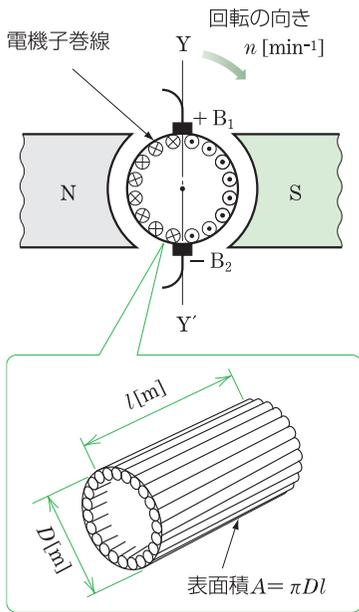
1 直流発電機の理論

1 起電力の大きさ

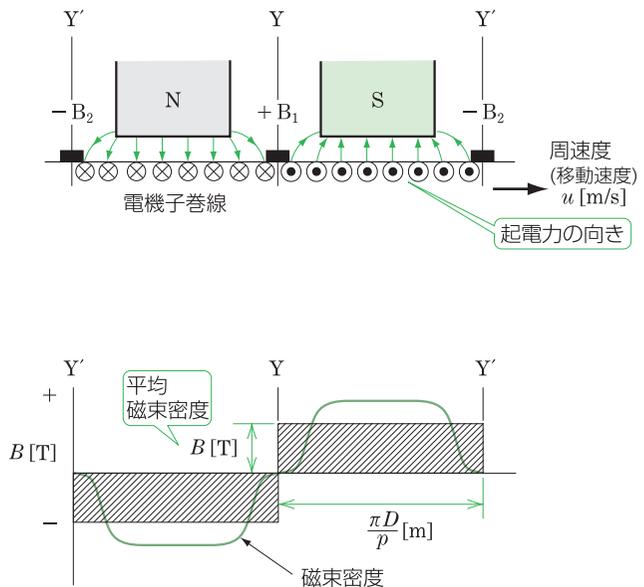
図1(a)の電機子巻線が磁束を切ると、フレミングの右手の法則により定まる向き

①電機子巻線のコイル辺を電機子導体ともいう。

に起電力が発生する。これを180°展開して示すと図1(b)になる。



(a) 原理図



(b) 起電力の発生と磁束密度分布図

▲図1 電機子巻線の磁束分布と起電力

磁極と電機子の間のエアギャップにおける磁束密度は太線のようになるが、その平均磁束密度を B [T]、電機子の直径を D [m]、1本の電機子導体の長さを l [m]、電機子導体の周速度を u [m/s]、1分間の回転速度を n [min^{-1}] とすると、1本の導体に誘導される起電力 e [V] は、次式で表される。

$$e = Blu = Bl \frac{\pi D n}{60} \quad (1)$$

②回転速度の単位で、1分間の回転数を表し、毎分という。

n [min^{-1}] は、 n per minute または、毎分 n という。

③ u は毎秒の周速度、 n は毎分の回転速度なので、秒速に直すために60で割る。

① 一般に、電機子巻線の全導体数を Z 、正負ブラシ間の並列回路数を a とすると、発電機の起電力 E [V] は、次式で表される。

$$E = \frac{Z}{a} \times e = \frac{Z}{a} Bl \frac{\pi D n}{60} \quad (2)$$

1 極から出る磁束を Φ [Wb]、その磁束が通る電機子の表面積を A [m²] とすると、極数 p の場合の磁束密度 B は、次式で表される。

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{\Phi}{\frac{\pi D l}{p}} = \frac{p \Phi}{\pi D l} \quad (3)$$

式(2)に式(3)を代入すると、次式が得られる。

$$E = \frac{Z}{a} p \Phi \frac{n}{60} = K_1 \Phi n \quad (4)$$

$K_1 = \frac{pZ}{60a}$ より、 K_1 は発電機の構造によって決まる定数であるので、
10 直流発電機の起電力は 1 極あたりの磁束と回転速度の積に比例することがわかる。

例題

1

極数 p が 4、電機子巻線の全導体数 Z が 400、並列回路数 a が 4 の直流発電機がある。この電機子の直径 D が 30 cm、軸方向の長さ l が 40 cm、磁束密度 B が 0.5 T である。 $n = 1500 \text{ min}^{-1}$ で回転させるときに誘導される起電力 E [V] を求めよ。

解答 起電力 E [V] は、式(2)から、次のようになる。

$$\begin{aligned} E &= \frac{Z}{a} Bl \frac{\pi D n}{60} = \frac{400}{4} \times 0.5 \times 0.4 \times \frac{\pi \times 0.3 \times 1500}{60} \\ &= 471 \overset{2}{\text{V}} \end{aligned}$$

問 1 極数 p が 6、電機子巻線の全導体数 Z が 200 の波巻の直流発電機がある。この発電機を $n = 1000 \text{ min}^{-1}$ で回転させたときに誘導される起電力 E は 100 V であった。このときの 1 極あたりの磁束 Φ [Wb] を求めよ。

2

電機子反作用

直流発電機に負荷をつないで電機子巻線に電流(電機子電流)を流すと、電機子電流によって電機子周辺に磁束が生じ、界磁電流による磁束、すなわち界磁磁束の分布が乱される。この電機子電流による界磁磁束への影響を電機子反作用^④という。これによって、発電機の起電力が減少したり、磁束密度が 0 T となる位置が移動したりする。

① 一般に電機子導体は 1 本ではないので、全導体数として Z を起電力 e に掛ける。

② 測定値は一般に誤差を含んでいる。したがって、有効数字のけた数を多く並べても正確とはいえず、意味がない。本書では、測定値や近似値の計算の結果は、原則として有効数字 3 けたで示す。

③ 第 1 章 p.22 参照。

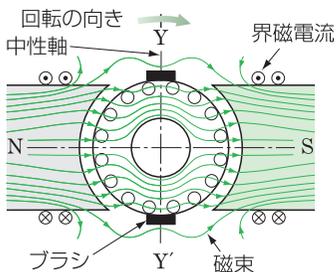
④ armature reaction

a 電機子電流の影響

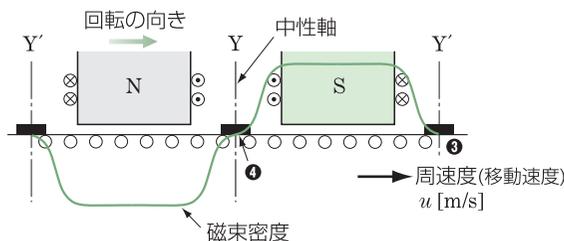
図 2(a)は、2極の発電機において、磁極と電機子の間エアギャップでの界磁磁束の分布図である。また、図 2(b)は、界磁磁束を考えずに、電機子電流のみが流れたときの磁束の分布図である。よって、負荷運転中のエアギャップの磁束分布は、図 2(c)のように、図 2(a)の界磁電流のみによる磁束と図 2(b)の電機子電流のみによる磁束との和となる。このとき、YY'の位置は回転の向きに角度 θ [rad] だけ移動するので、この新しい軸 nn' を **電気的中性軸** ① といい、移動前の YY' を **中性軸** ② という。

電気的中性軸が移動すると、ブラシの位置が図 2(c)の YY' のままでは、このブラシで短絡される電機子巻線に起電力が誘導され、短絡電流が流れるため、ブラシと整流子片間に火花が生じ、整流子を焼損してしまう。

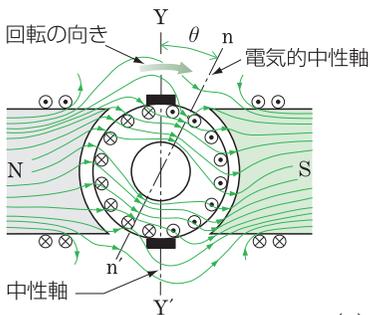
- ① 磁束密度が 0 になる位置のこと。
- ② 幾何学的中性軸ともいう。
- ③ ○の記号は、電流が流れていない状態を示す。
- ④ 磁束密度は 0 になっている。
- ⑤ 負荷電流が流れると、磁束密度は 0 にならない。



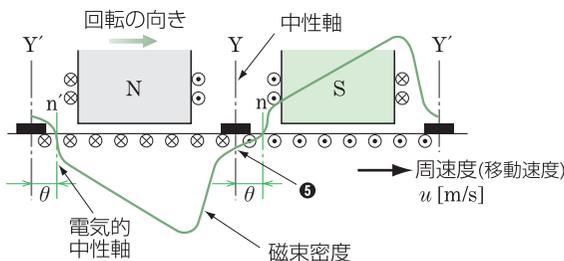
(a) 界磁電流のみによる磁束分布



(b) 電機子電流のみによる磁束分布



(c) 負荷状態の合成磁束分布



▲ 図 2 発電機の磁束分布

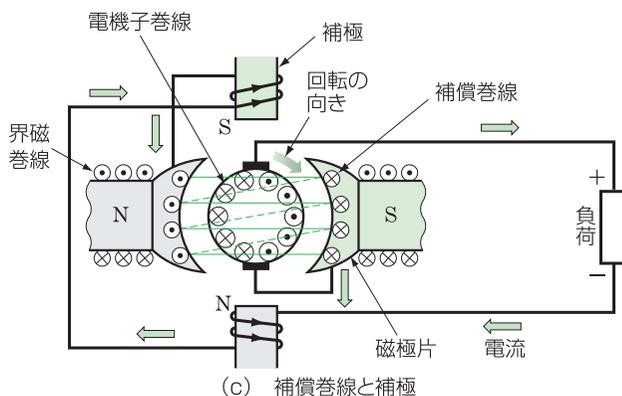
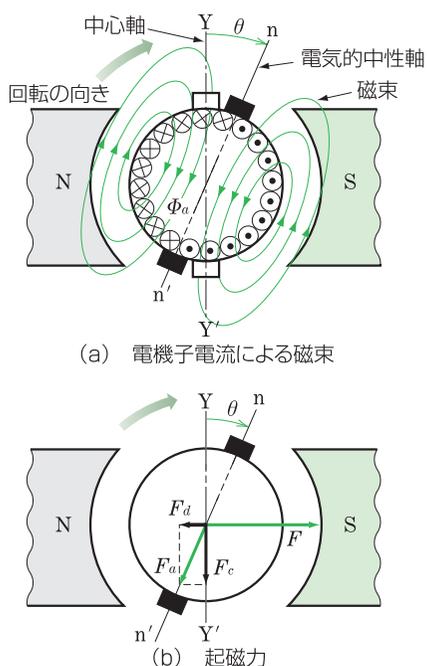
5

10

b ブラシの移動 火花の発生を防ぐには、ブラシの位置を回転の向きに角度 θ だけ移動させる必要がある。こうすると、電機子電流による磁束は、図3(a)に示すようになる。この磁束を生じさせる起磁力を **電機子起磁力** といい、 F_a で表す。

5 図3(b)は、 F_a と **界磁起磁力** F をベクトル図で表したものである。この図からわかるように、 F_a は、界磁起磁力 F と逆向きのベクトル F_d をもつため、 F を減少させる。この働きを **減磁作用** といい、 F_d を **減磁起磁力** という。また、電機子起磁力 F_a の界磁起磁力 F に垂直なベクトル F_c は F の方向を曲げている。この働きを **交差磁化作用** とい

10 い、 F_c を **交差起磁力** という。



▲図3 電機子反作用の防止法

c 補償巻線と補極 電機子反作用の影響を防ぐため、図3(c)に示すように、磁極片に巻線を設ける。この巻線を **補償巻線** ① とい

15 う。補償巻線を電機子巻線に直列に接続すると、電機子電流と逆向きに電流が流れるため、電機子巻線の磁束を打ち消す作用をする。また、ブラシで短絡されるコイルには、電機子反作用による誘導起電力②が発生するので、それを打ち消す起電力が誘導されるように **補極** ③ を用いる。このように、ブラシを移動しないですむよう、くふうがなされている。

① compensating winding；高価であるため、大形機のみ用いられる。

② p.29 で学んだように、電機子反作用によって生じる電圧をいう。

③ interpole

2

直流発電機の種類と特性

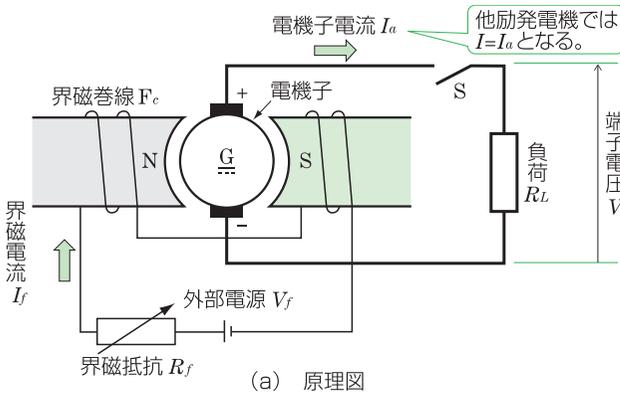
直流発電機には、界磁磁束をつくる方法によって、他励発電機と自励発電機がある。

1

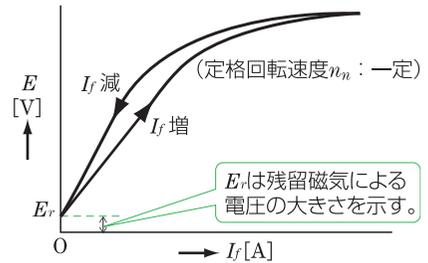
他励発電機

図4(a)は、他励発電機の原理図であり、図4(b)は、その回路図である。界磁巻線 F_c に流す界磁電流 I_f [A] は、外部の電源 V_f [V] から供給される。このような直流発電機を **他励発電機** ① という。

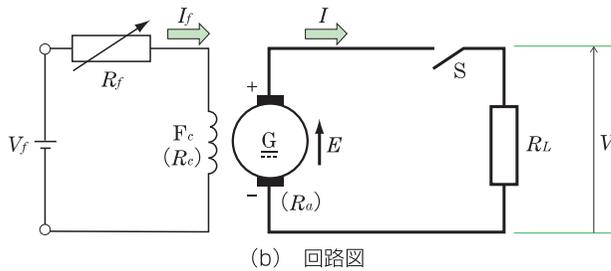
① separately excited generator



(a) 原理図



(c) 無負荷飽和曲線



(b) 回路図

R_a : 電機子抵抗 ②
 R_c : 界磁巻線の抵抗
 R_L : 負荷
 E : 起電力
 I : 負荷電流

▲ 図4 他励発電機の回路と特性(無負荷飽和曲線)

a 無負荷飽和曲線 図4(a)において、スイッチ S を開いた状態で、電機子を定格回転速度 n_n [min^{-1}] で回転させ、界磁電流 I_f [A] を増加させると、起電力 E [V] は、 I_f [A] にほぼ比例して大きくなる。しかし、図4(c)のように I_f [A] がある大きさ以上になると、鉄心の磁気飽和のために、 E [V] は増加しなくなる。次に、 I_f [A] を最大値から減少すると、鉄心のヒステリシスのため、起電力 E [V] の値は I_f [A] を増加したときの値とは一致しない。なお、 E_r [V] は鉄心の残留磁気 ③ による起電力である。このように無負荷の状態において界磁電流 I_f [A] と起電力 E [V] との関係を示す曲線を **無負荷飽和曲線** ④ という。

② 電機子回路の抵抗ともいい、おもに電機子巻線の抵抗(電機子巻線抵抗)である。本書の回路図では、電機子巻線の抵抗は()で囲むこととする。

③ 磁性体(鉄心)に磁界を加えて磁化させ、磁界を取り除いたあとに残る磁気のこと。

④ no-load saturation curve

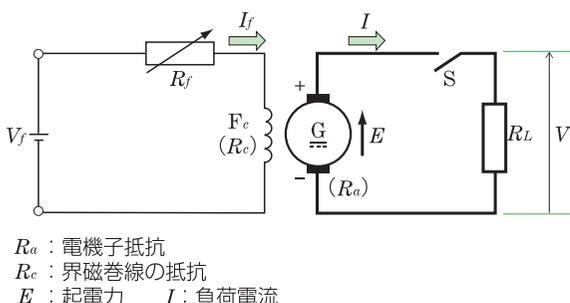
b 外部特性曲線

図 5(a)において、スイッチ S を閉じて、直流発電機を定格回転速度 n_n [min^{-1}] で回転させ、定格電圧 V_n [V] のときに、定格電流 I_n [A] となるように界磁抵抗 R_f [Ω] と負荷抵抗 R_L [Ω] を調整する。回転速度 n [min^{-1}]、界磁電流 I_f [A] を一定にし、負荷抵抗 R_L [Ω] を変化させるときの負荷電流 I [A] と端子電圧 V [V] との関係を示す曲線を **外部特性曲線** ^① という。

図 5(b)は、外部特性曲線の例で、負荷電流 I [A] の増加とともに端子電圧 V [V] が減少する。これは電機子巻線抵抗 R_a [Ω] による電圧降下 $R_a I$ [V]、電機子反作用による電圧降下 v_a [V]、ブラシの接触による電圧降下 v_b [V] ^③ があるためである。

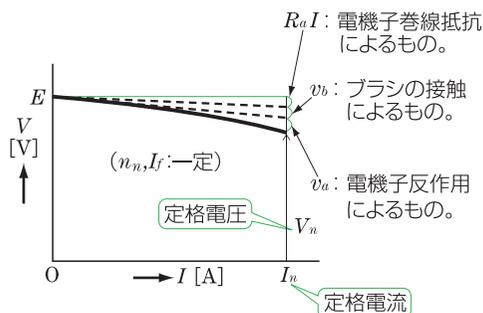
端子電圧 V [V] と起電力 E [V] の関係は、次式で表される。

$$V = E - (R_a I + v_a + v_b) \quad (5)$$



R_a : 電機子抵抗
 R_c : 界磁巻線の抵抗
 E : 起電力 I : 負荷電流

(a) 回路図



(b) 外部特性曲線

▲ 図 5 他励発電機の回路と特性 (外部特性曲線)

① external characteristic curve

② I は図 4 (a) の I_a と同じである。

③ 略して、ブラシ接触電圧降下ともいう。

問 2 他励発電機に負荷をかけたところ、端子電圧 V は 200 V で負荷電流 I は 60 A であった。この発電機の誘導起電力 E [V] を求めよ。ただし、電機子巻線抵抗 R_a を 0.05 Ω 、電機子反作用による電圧降下 v_a を 2 V、ブラシ接触電圧降下 v_b を 1 V とする。

2 自励発電機

直流発電機において、自己の誘導起電力を利用して磁極を励磁すれば、外部の直流電源は不要になる。このような発電機を **自励発電機** ^④ という。この場合、電機子巻線と界磁巻線の接続のしかたによって、ぶんまき 分巻発電機・ちよくまき 直巻発電機などがある。

④ self-excited generator

b 直巻発電機 図 7(a), (b)のように、電機子巻線と界磁巻線 F_d が直列に接続された直流発電機を **直巻発電機** ① という。図 7(c)は、直巻発電機の外部特性曲線である。この特性曲線は、界磁巻線を切り離し他励発電機として無負荷飽和曲線を求め、この曲線から電機子巻線抵抗と界磁巻線抵抗の電圧降下 $(R_a + R_d)I$ [V]、電機子反作用による電圧降下 v_a [V]、およびブラシ接触電圧降下 v_b [V] を差し引いて描いたものである。したがって、端子電圧 V [V] は、これらの関係より次式で表される。

$$V = E - \{(R_a + R_d)I + v_a + v_b\} \quad (7)$$

例題 2

分巻発電機に 8Ω の負荷抵抗 R_L [Ω] を接続し、定格回転速度で回転させている。端子電圧 V を 100 V にするために、界磁電流 I_f を 2.5 A にした。このときの負荷電流 I [A] と誘導起電力 E [V] を求めよ。ただし、電機子巻線抵抗 R_a を 0.4Ω 、電機子反作用による電圧降下 v_a を 2 V 、ブラシ接触電圧降下 v_b を 1 V とし、また、 I_f の減少による電圧降下 v_f は無視する。

解答 負荷電流 I [A] は、

$$I = \frac{V}{R_L} = \frac{100}{8} = 12.5 \text{ A}$$

電機子電流 I_a [A] は、

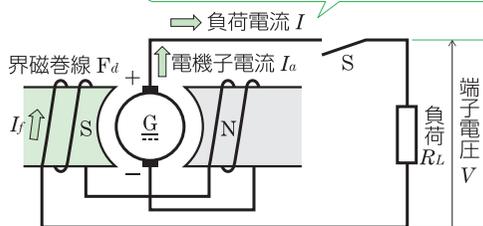
$$I_a = I + I_f = 12.5 + 2.5 = 15 \text{ A}$$

誘導起電力 E [V] は、式(6)より次のようになる。

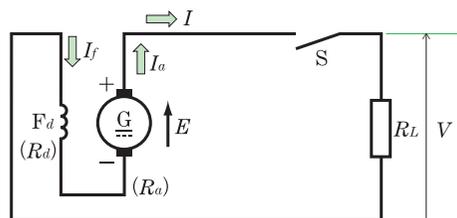
$$\begin{aligned} E &= V + I_a R_a + v_a + v_b \\ &= 100 + 15 \times 0.4 + 2 + 1 = 109 \text{ V} \end{aligned}$$

問 3 図 7(b)のように、直巻発電機に負荷抵抗 R_L [Ω] を接続し、定格回転速度 n_n [min^{-1}] で回転するとき、誘導起電力 E が 202 V 、電機子電流 I_a が 20 A であった。このときの負荷抵抗 R_L [Ω] と発電機の実出力 P [kW] を求めよ。ただし、電機子巻線抵抗 R_a [Ω] および直巻界磁巻線抵抗 R_d [Ω] は、いずれも 0.05Ω とし、電機子反作用による電圧降下およびブラシ接触電圧降下は無視する。

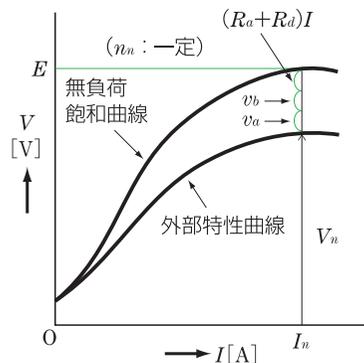
直巻発電機では $I = I_a = I_f$ となる。



(a) 原理図



(b) 回路図



(c) 外部特性曲線

▲ 図 7 直巻発電機の回路と特性

① series wound generator

② 自励発電機においても、無負荷飽和曲線は、他励方式にして、定格回転速度で運転して求める。

問 4 分巻発電機と直巻発電機の外部特性曲線の違いを述べよ。

問 5 分巻発電機において、誘導起電力 E が 110 V、電機子巻線抵抗 R_a が 0.1 Ω 、ブラシ接触電圧降下 v_b が 2 V、負荷電流 I が 50 A であるとき、発電機の端子電圧 V [V] と出力電力 P [kW] を求めよ。ただし、電機子反作用の影響と界磁電流 I_f [A] は無視する。

問 6 定格出力 P_n が 2 kW、定格電圧 V_n が 100 V、定格回転速度 n_n が 1500 min^{-1} の他励発電機を定格状態で運転しているとき、負荷抵抗および励磁電流を変化させないで回転速度 n を 1350 min^{-1} にした。このときの発電機の端子電圧 V [V] を求めよ。ただし、電機子巻線抵抗 R_a は 0.15 Ω で、電機子反作用の影響およびブラシ接触電圧降下は無視する。

5

10

■ 節末問題 ■

1 次の文章の①～④に当てはまる語句を語群から選べ。

直流発電機の電機子反作用とは、発電機に負荷を接続したとき、巻線に流れる電流によってつくられる磁束が、巻線による磁束に影響を与える作用のことである。電機子反作用は、ギャップの主磁束をさせて発電機の端子電圧を低下させたり、ギャップの磁束分布にかたよりを生じさせて、ブラシの位置と電気的中性軸とのずれを生じさせる。このずれが、ブラシがある位置の導体にを発生させ、ブラシによる短絡などの障害の要因となる。

ブラシの位置と電気的中性軸とのずれを抑制する方法の一つとして、補極を設け、ギャップの磁束分布のかたよりを補正する方法が採用されている。

語群 **ア.** 電機子 **イ.** 界磁 **ウ.** 減少 **エ.** 増加
 オ. 接触抵抗 **カ.** 起電力

2 分巻発電機を、正規の向きと逆に回転させたとき、端子電圧は発生するか。

3 直巻発電機の負荷抵抗が、ある値より大きくなると、安定した電圧が得られなくなる。なぜか。

4 極数 p が 4、電機子巻線の全導体数 Z が 960、並列回路数 a が 4 の直流発電機がある。この発電機の回転速度 n が 750 min^{-1} のとき、600 V の誘導起電力 E を発生させるのに必要な各極の磁束 Φ [Wb] を求めよ。

5 端子電圧 V が 200 V、負荷電流 I が 100 A、回転速度 n が 1200 min^{-1} で運転している他励発電機がある。回転速度 n だけを 1000 min^{-1} に下げたときの、端子電圧 V [V] および負荷電流 I [A] を求めよ。ただし、電機子回路の抵抗 R_a は 0.15 Ω とし、電機子反作用の影響およびブラシ接触電圧降下は無視する。

6 20 kW の負荷を接続した分巻発電機がある。端子電圧 V が 220 V、界磁電流 I_f が 5 A のときの誘導起電力 E [V] を求めよ。ただし、電機子回路の抵抗 R_a は 0.2 Ω とし、電機子反作用の影響およびブラシ接触電圧降下は無視する。

15

20

25

30

この節で学ぶこと

電気エネルギーを機械エネルギーに変換する直流機が直流電動機である。ここでは、直流電動機の原理・特性・用途などについて学ぼう。

1 直流電動機の理論

1 直流電動機の原理

5

図1(a)のように、磁束密度が B [T] の平等磁界中に、 XX' を回転軸として方形コイルを置く。このコイルに電流 I [A] を流すと、コイルの回転軸に平行のコイル辺 \overline{ab} , \overline{cd} には、それぞれフレミングの左手の法則によって定まる向きに力 F [N] が生じる。コイル辺 \overline{ab} , \overline{cd} の長さを l

10

[m] とすれば、各コイル辺に生じる力 F [N] は $F = BIl$ で表される。

コイル辺 \overline{ab} と \overline{cd} に生じる力は偶力として働き、磁界と電流の向きが図(a)に示すとおりとすれば、コイルには時計まわりに回転しようとするトルク T [N・m] が生じる。このコイルの回転半径を r [m],

磁界に垂直な面に対してコイルの面がなす角度を θ [rad] とすれば、

15

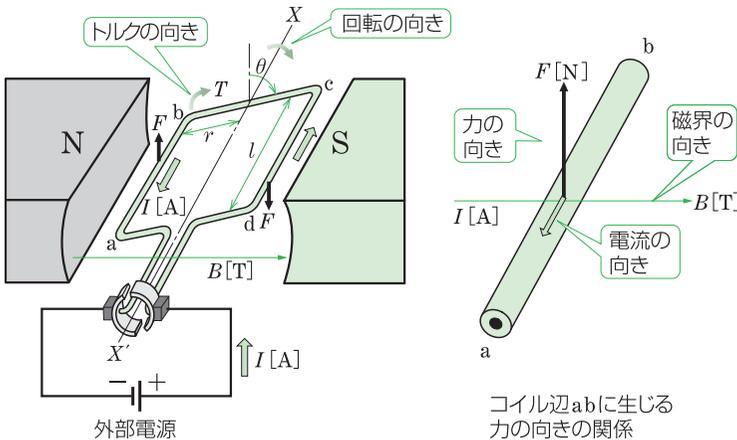
コイルに生じるトルク T [N・m] は、次式で表される。

$$T = 2Fr \sin \theta = 2BIlr \sin \theta \quad (1)$$

① 序章 p.11 参照。

② 大きさが等しく、力の方向がたがいに平行で逆向きな二つの力の組をいう。

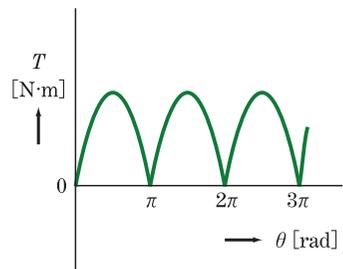
③ トルク T [N・m] = F [N] × r [m] より求める。序章 p.12 参照。



(a) 力・トルク発生の原理図

$$F = BIl \text{ [N]}$$

$$T = 2BIlr \sin \theta \text{ [N・m]}$$



(b) 回転角とトルクの大きさ

▲ 図1 トルクの発生

コイルが半回転すると、整流子とブラシの働きによって、同じ磁極の側にある導体には、つねに同じ向きの電流が流れるから、コイルは引き続いて同じ向きのトルクで回転し、電動機として働く。

コイルが一组では、図1からわかるように、角度 θ が0や π radのときには、トルクが0となり、始動しない瞬間もあるので、実際には図2に示すように、コイルの数を多くしている。

問 1 図1(a)において、磁束密度 B が0.1 T、コイル辺 \overline{ab} 部分の長さ l が0.4 m、コイルの回転半径 r が0.2 m、コイルを流れる電流 I が10 A、コイルの位置を示す角度 θ が $\frac{\pi}{2}$ radのとき、コイルに働くトルク T [N·m]を求めよ。

5

10

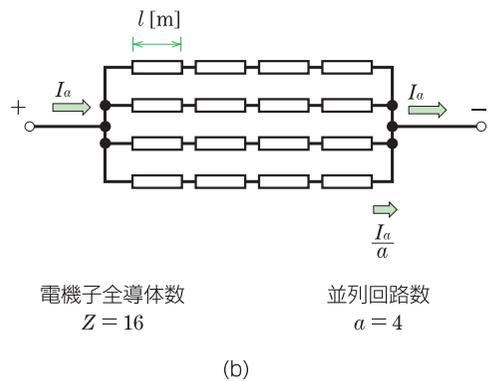
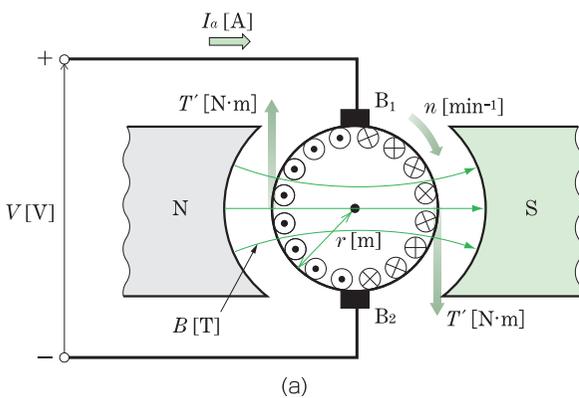
15

2 トルクと出力 図2に示すように、磁界中の電機子巻線に電流が流れると、各電機子巻線には電磁力が生じる。図において、電機子の半径を r [m]、磁極と電機子間のエアギャップにおける平均磁束密度を B [T]、電機子導体1本の長さを l [m]、並列回路数を a 、電機子電流を I_a [A]とすると、導体1本に働く力 F' [N] およびトルク T' [N·m]は、それぞれ式(2)、(3)で表される。

①コイル辺の長さに等しい。

$$F' = Bl \times \frac{I_a}{a} \quad (2)$$

$$T' = F'r = \frac{BLI_a r}{a} \quad (3)$$



▲図2 トルクと出力

1 極あたりの磁束を Φ [Wb]、その磁束が通る電機子の表面積を A [m²]、極数を p とすると、エアギャップの平均磁束密度 B [T] は、次式で表される。

$$B = \frac{\Phi}{A} = \frac{\Phi}{\frac{2\pi r l}{p}} = \frac{p\Phi}{2\pi r l} \quad (4)$$

5 電機子の全導体数を Z [本] とすれば、電機子を回転させるトルク T [N・m] は、導体 1 本に働くトルク T' [N・m] の Z 倍であり、また式(3)と(4)から式(5)となる。

$$T = T' \times Z = \frac{p\Phi}{2\pi r l} \times \frac{U_a r}{a} \times Z = \frac{pZ}{2\pi a} \times \Phi I_a$$

$$T = K_2 \Phi I_a \quad (5)$$

10 ここで K_2 は、 $K_2 = \frac{pZ}{2\pi a}$ であり、 K_2 は電機子の構造によって決まる定数となるので、直流電動機のトルクは、1 極あたりの磁束 Φ [Wb] と電機子電流 I_a [A] との積に比例することがわかる。

また、電機子全体には F [N] の電磁力が働いているので、電機子が 1 回転する間にする仕事 W [J]^① は、次式で表される。

$$15 \quad W = 2\pi r F = 2\pi T \quad (6)$$

直流電動機の回転速度を n [min⁻¹] とすると、電機子が 1 秒間にする仕事、すなわち出力 P_o [W] は、次式で表される。

$$P_o = 2\pi \frac{n}{60} T \quad (7)$$

20 このように出力 P_o [W] は、回転速度 n [min⁻¹] とトルク T [N・m] の積に比例する。

問 2 極数 p が 4、磁束 Φ が 0.025 Wb、並列回路数 a が 4、電機子電流 I_a が 50 A、電機子の半径 r が 15 cm、電機子の全導体数 Z が 160 本、回転速度 n が 1500 min⁻¹ の直流電動機のトルク T [N・m] および出力 P_o [kW] を求めよ。

① [J] = [N・m] より求める。仕事 W [J] = 力 F [N] × 移動した距離 r [m]。

② 電機子の 1 秒間の回転速度は $\frac{n}{60}$ であるから、式(6)より電機子が 1 秒間にする仕事 P_o は、

$$P_o = \frac{W}{t}$$

$$P_o = W \times \frac{n}{60}$$

$$= 2\pi T \times \frac{n}{60}$$

となり、式(7)が導き出される。

3

逆起電力と電機子電流

図3(a)において、外部から電源電圧 V [V] を加えると、電機子電流 I_a [A] が流れ、電機子が回転する。このとき、電機子巻線は磁束を切って回転しているので、フレミングの右手の法則により、電機子巻線には、外部からの直流電圧 V と逆向きに、すなわち電機子電流を減少させる向きに誘導起電力 E が生じる。この逆向きの誘導起電力 E を **逆起電力** ^① という。

したがって、直流電動機の電機子の回路は、図3(b)の等価回路で表される。電機子電流 I_a [A] は、外部からの直流電圧、すなわち電源の端子電圧 V [V] と逆起電力 E [V] の差の電圧に比例し、電機子巻線抵抗 R_a [Ω] に反比例し、次式で表される。

$$I_a = \frac{V - E}{R_a} \quad (8)$$

電機子の回転速度を n [min^{-1}] とすれば、逆起電力 E [V] は、直流発電機と同様に、次式で示される。

$$E = \frac{Z}{a} p \Phi \frac{n}{60} = K_1 \Phi n \quad (9)$$

式(8)より、 $E = V - R_a I_a$ の両辺に I_a を掛けると、次式で示される。

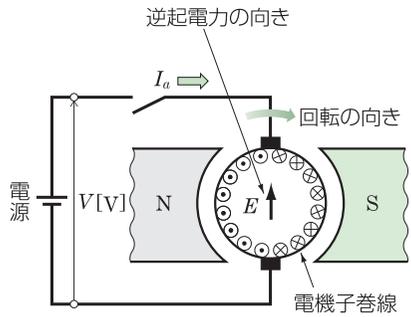
$$E I_a = V I_a - R_a I_a^2$$

ここで、右辺の $V I_a$ [W] は電機子の回路の入力、 $R_a I_a^2$ [W] は電機子巻線の回路の抵抗損であるから、 $E I_a$ [W] は、電動機において機械動力に変換される電力、すなわち電動機の出力である。したがって、電動機の出力 P_o [W] は、次式で表される。

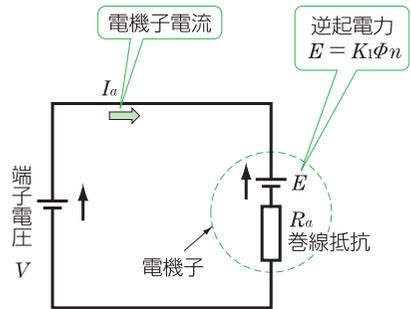
$$P_o = E I_a = V I_a - R_a I_a^2 \quad (10)$$

もし、直流電動機の機械的な負荷 ^③ が増加し、回転速度 n [min^{-1}] が低下すると、逆起電力 E [V] は、式(9)に従い、回転速度 n [min^{-1}] に比例して減少する。また、式(8)から、端子電圧 V [V] が一定で逆起電力 E [V] が減少すると、電機子電流 I_a [A] は増加する。そうすると、直流電動機に供給される電力 P_i [W] ^④ は、 $P_i = V I_a$ ^⑤ より、電動機の入力 P_i が増えて電動機は回転し続ける。

① counter-electromotive force



(a) 逆起電力



(b) 等価回路

▲ 図3 逆起電力と電機子電流

② 第1章 p.29 式(4)参照。

③ 電動機の出力軸に接続されている発電機などの負荷を指す。電動機からの機械エネルギーを消費するもの。

④ 電動機入力である。

⑤ 分巻電動機では、

$$I_a = I - I_f \doteq I$$

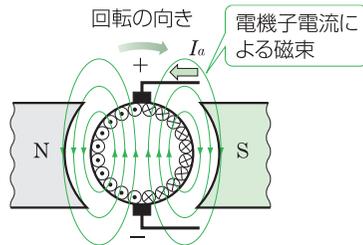
直巻電動機では、

$$I_a = I_f = I$$

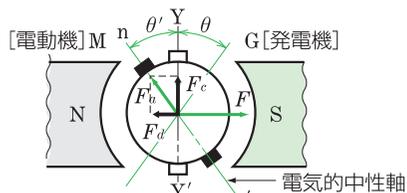
◆電機子反作用と防止法◆ 直流電動機の場合にも、電機子電流が流れることによって電機子反作用が生じる。

このとき、電機子電流の向きは、直流発電機の場合と逆向きであるため、電機子電流 I_a による磁界が、図 4(a)に示す向きに生じる。この磁界の磁束と界磁磁束が合成された電気的中性軸は、回転の向きと逆向きに角 θ' [rad] だけ傾き、起磁力のベクトル図は、図 4(b)のようになる。よって、整流子とブラシ間の火花抑制のため、発電機の場合と逆向きにブラシを移動させなければならない。しかし、図 4(c)に示す補償巻線^②や補極^③を設けることにより、ブラシを移動せずに、電機子反作用を防止できる。

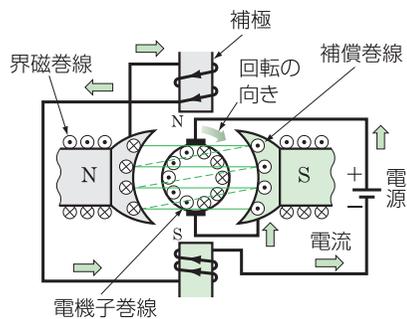
この場合、電機子反作用や整流作用の向きが直流発電機の場合とは反対になるが、電機子電流の向きが反対であるので、補償巻線や補極の接続方法は直流発電機の場合と同じでよいことになる。



(a) 電機子電流による磁束



(b) 起磁力

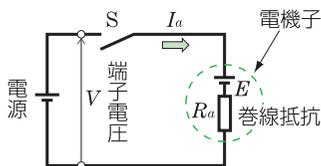


(c) 補償巻線と補極

▲図 4 電機子反作用の防止法

例題 1

図 5 のように、端子電圧 V が 210 V、電機子電流 I_a が 110 A、回転速度 n が 1200 min^{-1} で運転している直流電動機がある。この電動機の発生トルク T [N·m] を求めよ。ただし、電機子巻線抵抗 R_a は 0.2Ω であり、ブラシ接触電圧降下、電機子反作用は無視する。



▲図 5

解答 発生トルク T [N·m] は、式(7)と式(10)より次式で表される。

$$T = \frac{P_o}{2\pi n} \times 60 = \frac{VI_a - R_a I_a^2}{2\pi n} \times 60$$

$$= \frac{210 \times 110 - 0.2 \times 110^2}{2\pi \times 1200} \times 60 = 165 \text{ N}\cdot\text{m}$$

問 3 例題 1 の直流電動機において、端子電圧 V が 210 V、電機子電流 I_a が 50 A、電機子巻線抵抗 R_a が 0.2Ω 、回転速度 n が 1500 min^{-1} のとき、発生トルク T [N·m] を求めよ。

問 4 直流電動機の電機子に 100 V の電圧が加えられ、20 A の電機子電流が流れているとき、電機子巻線の抵抗 R_a [Ω] を求めよ。ただし、電機子に発生している逆起電力 E は 94 V とする。

- ① 第 1 章 p.31 図 3 (b) 参照。
- ② compensating winding
- ③ commutating pole, interpole

2

直流電動機の特性

1

分巻電動機の特性

一般に、直流電動機などの原動機では、

負荷の増減によって、回転速度やトルクが変化する。

a 速度特性 図6において、端子電圧 V [V]、界磁調整器の抵抗値 R_f [Ω] を一定にすれば、界磁磁束 Φ [Wb] は一定であり、電機子の回転速度 n [min^{-1}] は、式(8)と式(9)から、次式で表される。

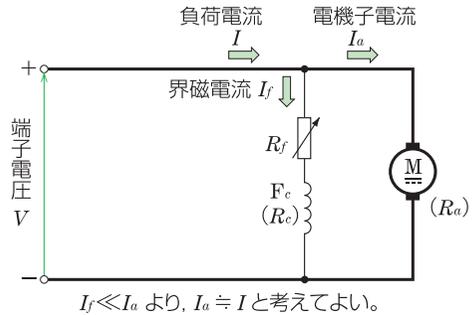
$$n = \frac{V - R_a I_a}{K_1 \Phi} \quad (11)$$

いま、機械的な負荷が増加すると、電機子電流 I_a [A] が増加し、式(11)に従って回転速度 n [min^{-1}] の値はわずかに減少するが、 $R_a I_a$ [V] は端子電圧 V [V] に比べてかなり小さいので、図6(b)に示す n のように、ほぼ一定である。このように、負荷の変化に関係なく、回転速度が一定な電動機は、**定速度電動機**^①とよばれる。電動機の端子電圧を一定としたときの、負荷電流と回転速度との関係を表した特性を**速度特性**という。

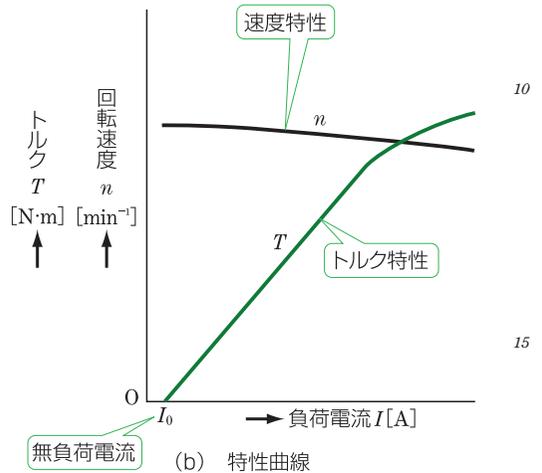
b トルク特性 電動機のトルク T [$\text{N}\cdot\text{m}$] は、式(5)から、 $T = K_2 \Phi I_a$ で示される。分巻電動機の界磁磁束は、ほぼ一定と考えてよいので、トルク T [$\text{N}\cdot\text{m}$] は、図6(b)に示すように、負荷電流 I [A] にほぼ比例する。端子電圧を一定としたときの、負荷電流とトルクとの関係を表した特性を**トルク特性**という。

電動機のトルク T [$\text{N}\cdot\text{m}$] は $K_2 \Phi I_a$ [$\text{N}\cdot\text{m}$] で表されるが、実際に使用できる有効なトルク T_e [$\text{N}\cdot\text{m}$] は、 $K_2 \Phi I_a$ [$\text{N}\cdot\text{m}$] から無負荷電流 I_0 [A] によるトルク $K_2 \Phi I_0$ [$\text{N}\cdot\text{m}$] を減じたものである。すなわち、 T_e [$\text{N}\cdot\text{m}$] は $T_e = K_2 (I_a - I_0) \Phi$ で表される。

問 5 分巻電動機で、端子電圧 V が 100 V、電機子電流 I_a が 40 A、電機子巻線抵抗 R_a が 0.2 Ω 、回転速度 n が 1500 min^{-1} のとき、これを無負荷にした場合の回転速度 n [min^{-1}] を求めよ。



(a) 回路図



(b) 特性曲線

▲ 図6 分巻電動機の回路と特性

① constant-speed motor

② $K_2 \Phi I_0$ は、このあと p. 50 で学ぶ電動機の鉄損と機械損のために消費されるトルクである。

2 直巻電動機の特性

a 速度特性

直巻電動機の回路は、

図 7(a)のように表され、界磁磁束は電機子電流，すなわち負荷電流によりつくられる。界磁磁束が磁気飽和しない場合の未飽和領域を考えると、界磁磁束 Φ [Wb] は負荷電流 I [A] に比例する。よって、回転速度 n [min^{-1}] は、式(11)より次式で表される。

$$n = \frac{V - R_a' I}{K_1 \Phi} = \frac{V - R_a' I}{K_1 I} \quad (11)$$

$$\doteq K_1'' \frac{V}{I} \quad (12)$$

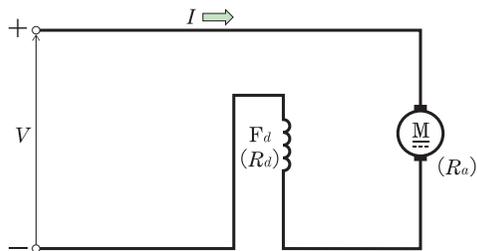
回転速度 n [min^{-1}] は、図 7(b)に示すように、負荷電流 I [A] の増加に反比例して減少する。このように、直巻電動機は、負荷電流の増減によって回転速度が大きく変わるので、**変速度電動機**とよばれる。

b トルク特性

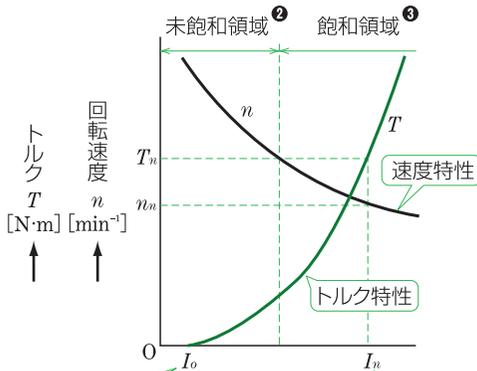
直巻電動機のトルク T [N·m] は、界磁磁束の未飽和領域を考えると、次式で表される。

$$T = K_2 \Phi I = K_2' I^2 \quad (13)$$

トルク T [N·m] は、負荷電流 I [A] の 2 乗に比例し、図 7(b)に示すようになる。なお、飽和領域では界磁磁束 Φ [Wb] がほぼ一定であるので、トルク T [N·m] は、負荷電流 I [A] に比例する。直巻電動機は、始動時のトルクが大きいという特徴がある。



(a) 回路図



(b) 特性曲線

▲図 7 直巻電動機の回路と特性

① R_a' は直巻界磁巻線抵抗 R_d を含む電機子回路の抵抗である。

$$V \gg R_a' I$$

② 電流が増加すると、ほぼ比例して磁束が増加する範囲をいう。

③ 電流が増加しても、磁束がほぼ一定の範囲をいう。

④ 無負荷で運転すると高速回転になり、危険である。

⑤ varying-speed motor

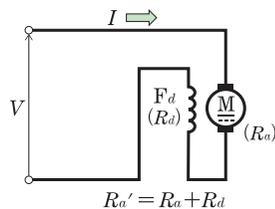
$$\textcircled{6} I = I_a \quad \Phi \propto I$$

例題

2

直巻電動機の端子電圧 V が 400 V、負荷電流 I が 40 A のとき、回転速度 n_1 は 1200 min^{-1} であった。端子電圧 V を 300 V にしたときの同じ負荷電流に対する回転速度 n_2 [min^{-1}] を求めよ。ただし、直巻界磁巻線の抵抗を含む電機子回路の抵抗 R_a' を 0.4Ω とし、ブラシ接触電圧降下と電機子反作用による電圧降下は無視する。

解答 端子電圧 V が 400 V と 300 V のときの逆起電力 E_1 [V]、 E_2 [V] を式(8)から求めればよい。ただし、設問は直巻電動機であるから、 $I_a = I$ である。



▲図 8

$$E_1 = V_1 - I_a R_a' = 400 - 40 \times 0.4 = 384 \text{ V}$$

$$E_2 = V_2 - I_a R_a' = 300 - 40 \times 0.4 = 284 \text{ V}$$

負荷電流 I [A] が同じであるから、磁束 Φ [Wb] は一定である。このとき、回転速度 n [min^{-1}] は逆起電力 E [V] に比例するので、次式で表される。

$$\frac{n_2}{n_1} = \frac{E_2}{E_1}$$

よって、求める回転速度 n_2 [min^{-1}] は、次式で表される。

$$n_2 = \frac{E_2}{E_1} n_1 = \frac{284}{384} \times 1200 = 888 \text{ min}^{-1}$$

5

問 6 直巻電動機で、無負荷になると回転速度 n はどうなるか。

問 7 直巻電動機がある負荷を負って運転しているときの負荷電流 I が 50 A、回転速度 n が 1000 min^{-1} であった。負荷トルクが半減したときの負荷電流 I' [A] および回転速度 n' [min^{-1}] を求めよ。ただし、磁気飽和および電機子回路の抵抗は無視する。

10

3 直流電動機の始動と速度制御

1 電動機の始動

図 9 (a)において、抵抗 R が 0Ω で端子電圧を V [V] とすると、式(11)より電機子電流 I_a [A] は、 $I_a = \frac{V - K_1 \Phi n}{R_a}$ で表される。電圧を加えた瞬間は、回転速度 n が 0 min^{-1} であるので、逆起電力 E [V] は、 $E = K_1 \Phi n = 0$ で、電機子電流 I_a [A] は $I_a = \frac{V}{R_a}$ となる。

15

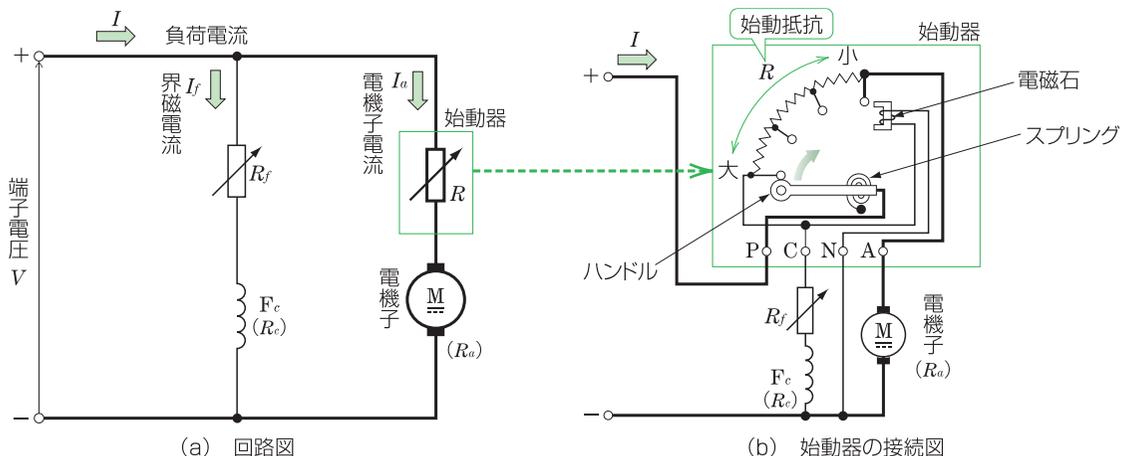
実際の電動機の電機子巻線抵抗 R_a [Ω] はきわめて小さいので、過大な電流が流れ、電機子巻線を焼損するおそれがある。これを防止するためには、始動時には電機子回路に直列に抵抗 R [Ω] を接続しておき、端子電圧 V [V] を加える。そして、回転速度 n [min^{-1}] が上昇するに従って、始動時の電流を制限しつつ、抵抗 R [Ω] を減少させていく。この抵抗 R を **始動抵抗**^① といい、その装置を **始動器** という。また、電動機の電源スイッチを閉じた直後の、いわゆる始動時の最大電流を **始動電流**^② という。図 9 (b)は実際に用いられている始動器の接続図である。

20

① starting resistance 25

② starting current

また、実際の始動器の例を図 9(c)に示す。



- 〈始動器の取り扱い方〉
- ①電動機の電源を入れてからハンドルを少し右に回すと、電動機が回転が始める。
 - ②ハンドルを少しずつ右に回すと、始動抵抗 R が減少し、電動機の回転が速くなる。
 - ③さらにハンドルを上まで回すと、始動抵抗 R が最終的に短絡され、ハンドルの位置が電磁石により保持される。
 - ④電動機の電源を切ると、電磁石は磁力を失うので、ハンドルは自動的にもとの位置に戻る。

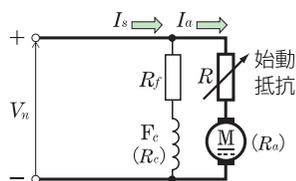
▲図 9 分巻電動機の始動器

例題 3

図 10 のような、電機子巻線抵抗 R_a が 0.4Ω 、界磁回路の抵抗 R_f' が 55Ω の分巻電動機がある。始動抵抗 R が 0Ω で、 110 V の定格電圧 V_n を加えたときの始動電流 I_s [A] を求めよ。

解答 図 10 において、始動電流 I_s [A] は、次のようになる。

$$I_s = I_a + I_f = \frac{V_n}{R_a} + \frac{V_n}{R_f'} = \frac{110}{0.4} + \frac{110}{55} = 277 \text{ A}$$



▲図 10

① R_f' は界磁抵抗 R_f と界磁巻線の抵抗 R_c の和である。

問 8 電機子抵抗 R_a が 0.4Ω 、界磁回路の抵抗 R_f' が 55Ω の分巻電動機がある。これに 110 V の定格電圧 V を加えたとき、始動電流 I_s [A] を定格電流の 1.5 倍に制限するには、始動抵抗 R [Ω] をいくらにすればよいか。ただし、定格状態で運転しているときの逆起電力 E を 100 V とする。

2

電動機速度制御

負荷に直結された電動機の回転速度を、
必要に応じて変化させたいことがある。^①

電動機の回転速度を変えることを **速度制御**^② という。

式(11)から、電機子の回路に直列抵抗 R [Ω] を挿入したときの直流電動機の回転速度 n [min^{-1}] は、次式で表される。

$$n = \frac{V - I_a(R_a + R)}{K_1 \phi} \quad (14)$$

回転速度 n [min^{-1}] を変えるには、界磁磁束 ϕ [Wb]、直列抵抗 R [Ω]、端子電圧 V [V] のいずれかを変えればよい。これらによる速度制御法をそれぞれ、**界磁制御法**^③・**抵抗制御法**^④・**電圧制御法**^⑤ という。

◆**界磁制御法**◆ 界磁調整器を加減し、界磁磁束の大きさを変えて速度を制御することを、界磁制御法という。分巻電動機では、図11の界磁調整器の抵抗値 R_f [Ω] を変えて、回転速度を制御する。ただし、この方式は、速度制御範囲が狭い。

◆**抵抗制御法**◆ 図11のように、電機子の回路に直列に抵抗 R を挿入して速度制御をすることを、抵抗制御法という。ただし、この方式は、抵抗 R の電力損失が大きく、速度制御範囲が狭い。

◆**電圧制御法**◆ 界磁磁束が一定で図12のように電機子巻線に加える電圧 V [V] を変化させて速度制御をすることを、電圧制御法という。

図12に、サイリスタを用いて、三相交流電圧を可変電圧の直流に変換し、電機子電圧を制御する方式を示す。この方式を **静止レオナード方式** といい、電力損失が少なく、広範囲の速度制御ができる。

① 製鉄工業における圧延機ロールの駆動では、精密に回転速度を制御することが必要であり、電車用電動機では、広範囲に回転速度を変える必要がある。

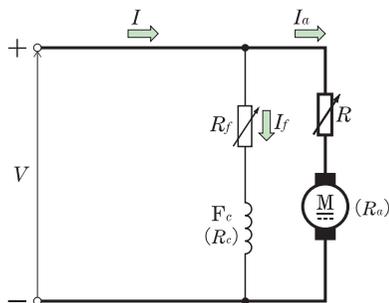
② speed control

③ field control

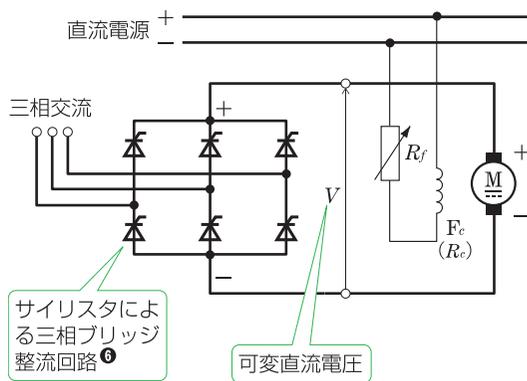
④ rheostatic control ; おもに直巻電動機の制御に用いられる。

⑤ voltage control ; おもに他励電動機に用いられる静止レオナード方式と、直巻電動機に用いられる直並列制御法とがある。

⑥ 第7章 p.256~257 で学ぶ。



▲図11 分巻電動機速度制御



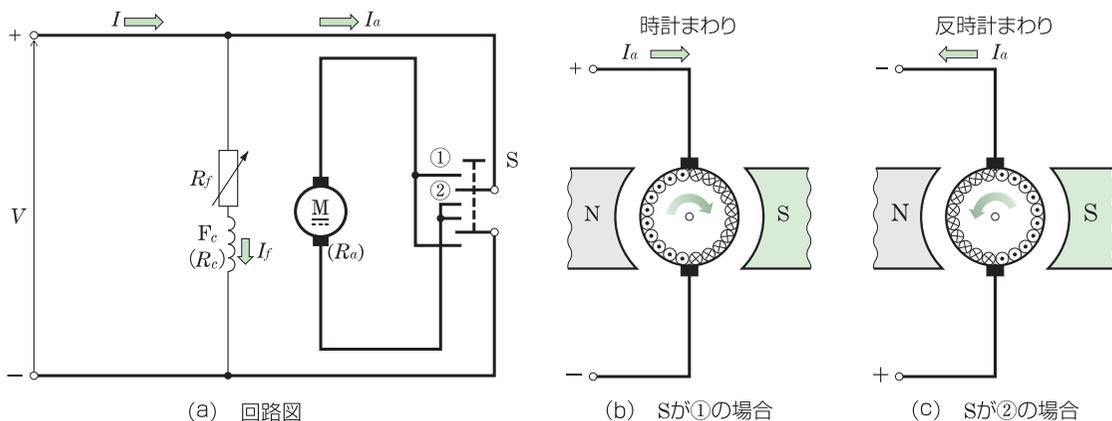
▲図12 静止レオナード方式

3 電動機の逆転と制動

a 逆転

電動機の回転の向きを変えることを**逆転**という。直流電動機を逆

転させるには、原理的には、電機子電流と界磁電流のうち、どちらかの電流の向きを変えればよい。一般的には、図 13(a)のように、電機子電流の向きを変える方法が用いられている。



▲ 図 13 逆転の方法

b 制動

運転中の電動機を減速・停止させることを**制動**という。

制動には、機械的な摩擦による制動のほかに、電気による制動がある。電気による制動には**発電制動**、**回生制動**、**逆転制動**の3種類があり、いずれも回転エネルギーを電気エネルギーに変換している。

① braking

② dynamic braking

③ regenerative braking

回生ブレーキともいう。

第 4 章 p.154 参照。

④ plugging ; プラッキングともいう。

◆**発電制動**◆ 電機子回路から直流電源を切り離し、かわりに抵抗器を接続して他励発電機とし、回転エネルギーから生じた電気エネルギーを抵抗器で熱として消費させて制御することを発電制御という。

◆**回生制動**◆ 電車が勾配を下るときなど、電動機を発電機として運転し、電車のもつ運動エネルギーを電力(電気エネルギー)に変えて電源に送り返すことを、回生制動という。

◆**逆転制動**◆ 電動機を電源に接続したまま電機子の接続を逆に切り換え、回転方向とは逆方向のトルクを発生させて、制動することを逆転制動という。逆転制動では、急速な制動をかけることができる。

問 9 端子電圧 V が 600 V 、直列抵抗が 1.5Ω 、負荷電流 I_1 が 50 A 、

回転速度 n_1 が 1500 min^{-1} で運転している直巻電動機がある。直列抵抗を 4Ω にするときの、同じ電流に対する回転速度 $n_2 [\text{min}^{-1}]$ を求めよ。

ただし、電機子巻線抵抗(界磁巻線抵抗を含む) R_a は 0.5Ω とする。

■ 節末問題 ■

1 次の文章の①～⑤に当てはまる語句を語群から選べ。

分巻電動機は、界磁回路と電機子回路とが並列に接続されており、端子電圧および界磁抵抗を一定にすれば、界磁磁束は一定である。このとき、機械的な負荷が増加すると、電機子電流が①し回転速度はわずかに②するが、ほぼ一定である。このように、負荷の変化に関係なく回転速度がほぼ一定な電動機は、定速度電動機とよばれる。

上記のように、分巻電動機の界磁磁束を一定にして運転した場合、電機子反作用などを無視すると、トルクは電機子電流にほぼ③する。

一方、直巻電動機は、界磁回路と電機子回路が直列に接続されており、界磁磁束は負荷電流によってつくられる。界磁磁束が磁気飽和しない領域では、界磁磁束は負荷電流にほぼ④し、トルクは負荷電流の⑤にほぼ比例する。

語群 ア. 減少 イ. 増加 ウ. 比例 エ. 反比例
オ. 2乗 カ. $\frac{1}{2}$ 乗

2 分巻電動機において、電機子巻線抵抗 R_a は 0.15Ω 、界磁回路の抵抗 R_f は 100Ω 、端子電圧 V は 200 V 、負荷電流 I は 50 A 、回転速度 n は 1500 min^{-1} である。次の各問いに答えよ。

- (1) 電機子に発生している電圧は何ボルトか。ただし、電機子反作用による電圧降下とブラシ接触電圧降下は無視する。
- (2) この電動機に、 200 V の電圧 V を加えたときに発生する出力は何キロワットか。
- (3) この電動機に 200 V の電圧 V を加え、始動電流 I_s を 60 A にするには、始動抵抗 R を何オームにすればよいか。

3 直巻電動機について、次の各問いに答えよ。

- (1) 電源の極性を変えれば、逆向きに回転するか。
- (2) 電源に交流電源を用いると、電動機は回転し続けるか。

4 分巻電動機がある。端子電圧 V が 210 V 、電機子電流 I_a が 30 A 、電機子巻線抵抗 R_a が 0.1Ω 、回転速度 n は 1500 min^{-1} のとき、発生するトルク $T [\text{N}\cdot\text{m}]$ を求めよ。ただし、電機子反作用による電圧降下、ブラシ接触電圧降下は無視する。

この節で学ぶこと ▶ 直流機の負荷が変動すると、直流発電機では電圧が変わり、直流電動機では回転速度が変わる。直流機を効果的に使う場合には、その特性について知っておく必要がある。ここでは、直流発電機や直流電動機の定格について調べ、さらに、電圧変動率・速度変動率・効率などの特性について学ぼう。

1 直流発電機の定格

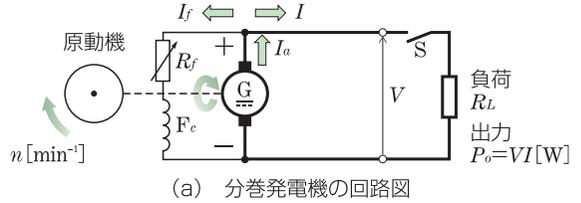
図 1 (a)に示すように、直流発電機 G を原動機で回転させると、起電力が発生し、スイッチ S を閉じると、発電機は負荷に電力 P_o [W] を供給する。

しかし、この発電機が、どのくらいの回転速度 n [min^{-1}] で電圧 V [V] のときにどの程度の電流 I [A] を取り出せるのかがわかっていなければ、過熱により発電機を焼損するおそれがある。

そこで、発電機の銘板^①には、電圧・電流・出力・回転速度などについて、標準的な使い方を示す値が示されている。これらの値を発電機の**定格**^②、または**定格値**^③という。定格電圧で定格電流が流れる負荷を**定格負荷**^④という。

1 電圧変動率

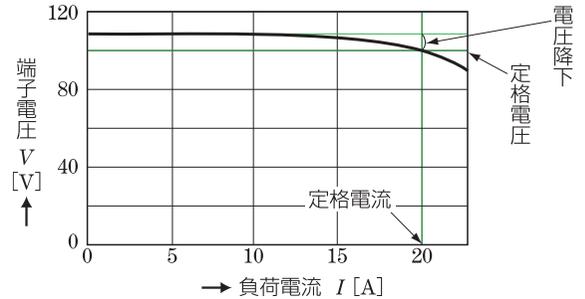
図 1 (a)において、原動機が定格回転速度 n_n [min^{-1}] で回転しているとき、負荷電流 I [A] を増加させると、電機子反作用による電圧降下などのため、図 2 のように端子電圧 V [V] は低下する。この曲線を直流発電機の外部特性曲線といい、端子電圧の低下の程度を表したものを**電圧変動率**^⑤という。



形式	OY-4	定格回転速度	1500 min^{-1}
定格	連続	定格電圧	100 V
定格出力	2.0 kW	定格電流	20 A
極数	2		

(b) 直流発電機の定格値^①の例
▲ 図 1 直流発電機の定格値

- ① 図 1 (b)は定格値を銘板に表した例であり、この場合、定格回転速度 n_n は 1500 min^{-1} 、定格電圧 V_n は 100 V、定格電流 I_n は 20 Aであることを示している。
- ② rating 機器の使用条件または限度のこと。
- ③ rated value
- ④ rated load



▲ 図 2 外部特性曲線

- ⑤ voltage regulation

無負荷のときの電圧を V_0 [V]、定格負荷のときの電圧を V_n [V] とすると、¹⁾電圧変動率 ε [%] は、次式で表される。

$$\varepsilon = \frac{V_0 - V_n}{V_n} \times 100 \quad (1)$$

例題

1 図2の特性曲線から電圧変動率 ε [%] を求めよ。

解答 図2より、 V_0 は 110 V、 V_n は 100 V である。電圧変動率 ε [%] は、式(1)から、

$$\varepsilon = \frac{V_0 - V_n}{V_n} \times 100 = \frac{110 - 100}{100} \times 100 = 10 \%$$

5

2 発電機の効率

図3は、直流発電機の電力の流れの関係を表している。発電機を回転させるのに必要な動力 P_i と発電機の出力 P_o を比べると、 P_o は P_i より小さい。その差 $P_i - P_o = P_l$ は発電機の損失¹⁾となる。そこで、²⁾発電機の効率 η [%] は、次式で表される。

10

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{P_o}{P_o + P_l} \times 100 \quad (2)$$

発電機の損失には、電機子巻線や界磁巻線による抵抗損とブラシ接触抵抗による抵抗損からなる³⁾銅損、鉄心中の損失からなる⁴⁾鉄損、回転子の運動による軸受の摩擦損などの⁵⁾機械損などがある。

① loss

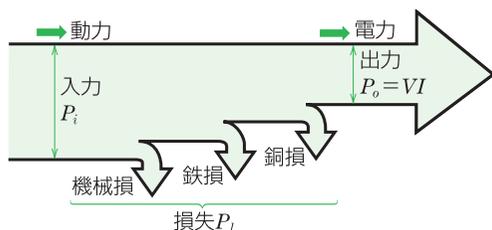
② efficiency ; 一般に、効率は定格出力の 75~80 % 付近で最大となるように設計されている。

③ copper loss

15

④ iron loss

⑤ mechanical loss



$$\eta = \frac{P_o}{P_o + P_l} \times 100$$

▲ 図3 直流発電機の電力の流れ

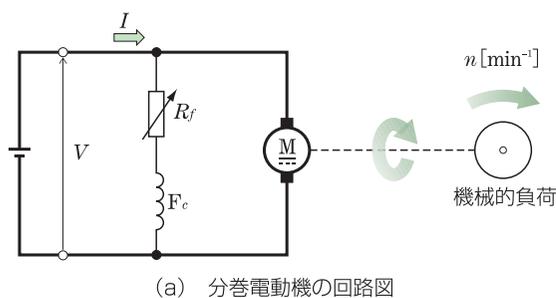
問 1 定格電圧 V_n が 100 V、定格出力 P_n が 15 kW、電機子回路の抵抗 R_a が 0.05Ω の他励発電機がある。電圧変動率 ε [%] を求めよ。ただし、電機子反作用の影響およびブラシ接触電圧降下は無視する。

問 2 定格電圧 V_n が 100 V、定格出力 P_n が 5 kW、回転速度 n が 1500 min^{-1} の分巻発電機がある。電機子回路の抵抗 R_a が 0.02Ω 、界磁回路の抵抗 R_f が 100Ω 、鉄損は 200 W である。全負荷時の効率 η [%] を求めよ。

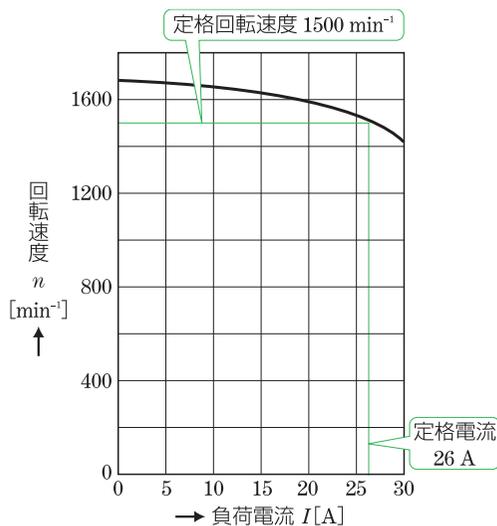
20

2 直流電動機の定格

図4(a)に示すように、直流電動機に機械的な負荷を結合して運転するとき、負荷が大きすぎると負荷電流が定格電流以上になり、電機子巻線を焼損するおそれがある。直流電動機にも、図4(b)に示すように、その銘板に定格が示されているので、その範囲内で使用しなければならない。



(a) 分巻電動機の回路図



(c) 分巻電動機の手速度特性

形式	OY-4	定格回転速度	1500 min ⁻¹
定格	連続	定格電圧	100 V
定格出力	2.0 kW	定格電流	26 A
極数	2		

(b) 直流電動機の定格値の例

▲ 図4 直流電動機の定格値と速度変動

1 速度変動率

図4(a)において、負荷を増加すると、回転速度は一般に低下する。その程度を表すのに、速度変動率^①を用いる。無負荷のときの回転速度を n_0 [min⁻¹] とし、定格負荷のときの回転速度を n_n [min⁻¹] とすると、速度変動率 ν [%] は、次式で表される。

① speed fluctuation rate

$$\nu = \frac{n_0 - n_n}{n_n} \times 100 \quad (3)$$

例題 2

図4(c)の特性曲線から速度変動率 ν [%] を求めよ。

解答 図4(c)より、 n_0 は 1700 min⁻¹、 n_n は 1500 min⁻¹、速度変動率 ν [%] は、式(3)から、

$$\nu = \frac{n_0 - n_n}{n_n} \times 100 = \frac{1700 - 1500}{1500} \times 100 = 13.3 \%$$

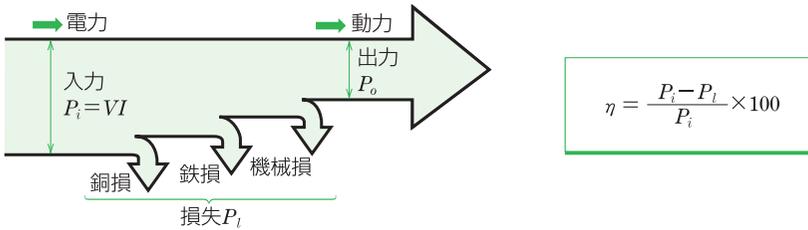
2

電動機の効率

図5は、直流電動機の電力の流れの関係を表している。電動機を回転させるのに必要な電力 P_i と電動機の出力 P_o を比べたとき、その差 $P_i - P_o = P_l$ は電動機の損失となる。そこで、電動機の効率 η [%] は、次式で表される。

$$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{P_i - P_l}{P_i} \times 100 \quad (4)$$

5



▲図5 直流電動機の電力の流れ

問 3 定格電圧 V が 100 V、定格出力 P_n が 5 kW の分巻電動機がある。定格負荷における入力 P_i [kW] および電機子電流 I_a [A] を求めよ。ただし、全負荷における電動機の効率 η は 83 %、界磁電流 I_f は 1 A とする。

直流機の定格のまとめ

	発電機	電動機
変動率	電圧変動率 $\epsilon = \frac{V_0 - V_n}{V_n} \times 100$	速度変動率 $\nu = \frac{n_0 - n_n}{n_n} \times 100$
効率	$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{P_o}{P_o + P_l} \times 100$	$\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100 = \frac{P_i - P_l}{P_i} \times 100$

■ 節末問題 ■

- 1 直流発電機において、定格電圧 V_n が 100 V、無負荷電圧 V_0 が 105 V であるという。電圧変動率 ϵ [%] を求めよ。
- 2 直流電動機において、無負荷のときの回転速度 n_0 が 1500 min^{-1} 、定格負荷のときの回転速度 n_n が 1450 min^{-1} であるという。速度変動率 ν [%] を求めよ。
- 3 定格電圧 V_n が 110 V、定格出力 P_n が 5 kW の分巻発電機がある。定格出力における電機子反作用による電圧降下 v_a は 2.2 V、ブラシ接触電圧降下 v_b は 1.5 V である。電圧変動率 ϵ [%] を求めよ。ただし、電機子巻線抵抗 R_a は 0.05Ω とし、界磁電流は無視する。
- 4 分巻電動機がある。端子電圧 V が 200 V、無負荷電流 I_0 が 8 A、電機子巻線抵抗 R_a が 0.1Ω とすれば、負荷電流 I が 100 A のとき、この電動機の効率 η [%] を求めよ。ただし、電機子反作用、ブラシ接触電圧降下および界磁電流は無視する。

10

15

この章のまとめ

1 節

- ① 直流機は、原動機で回転させると発電機となり、フレミングの右手の法則によって定まる向きに起電力が生じる。また、直流電源を加えると電動機となり、フレミングの左手の法則によって定まる向きに電磁力が生じる。▶ p.19~20
- ② 直流機は、電機子鉄心・電機子巻線・整流子・ブラシ・界磁鉄心・界磁巻線・継鉄などによって構成されている。▶ p.22~23

2 節

- ③ 直流発電機の起電力は、 $E = \frac{Z}{a} p \Phi \frac{n}{60} = K_1 \Phi n$ で表される。▶ p.29
- ④ 電機子電流による磁束を生じさせる起磁力が界磁起磁力に与える影響を電機子反作用といい、この影響を防ぐために補償巻線や補極が用いられる。▶ p.29~31
- ⑤ 直流発電機には他励発電機と自励発電機がある。自励発電機には、分巻発電機・直巻発電機などがある。▶ p.32~35
- ⑥ 直流発電機の特性は、無負荷飽和曲線と外部特性曲線で調べる。▶ p.32~35

3 節

- ⑦ 直流電動機のトルクは、 $T = \frac{pZ}{2\pi a} \Phi I_a = K_2 \Phi I_a$ で表される。▶ p.39
- ⑧ 直流電動機の出力は、 $P_o = 2\pi \frac{n}{60} T$ で表される。▶ p.39
- ⑨ 直流電動機に生じる電機子反作用の影響は、発電機の場合とは反対であるが、補償巻線や補極の接続方法は発電機の場合と同じでよい。▶ p.41
- ⑩ 直流電動機の特性は、速度特性やトルク特性などで表される。▶ p.42~43
- ⑪ 直流電動機の回転速度は、 $n = \frac{V - R_a I_a}{K_1 \Phi}$ で表される。▶ p.42
- ⑫ 直流電動機を始動するには、始動抵抗を電機子回路と直列に接続し、始動電流が過大となることを防ぐ。▶ p.44~45
- ⑬ 直流電動機の世界制御法には、界磁制御法・抵抗制御法・電圧制御法などがある。▶ p.46

4 節

- ⑭ 直流発電機の電圧変動率は、 $\varepsilon = \frac{V_0 - V_n}{V_n} \times 100$ で表される。▶ p.50
- ⑮ 直流機の効率は、 $\eta = \frac{P_o}{P_i} \times 100$ で表される。▶ p.50, 52
- ⑯ 直流機の損失には、銅損・鉄損・機械損などがある。▶ p.50
- ⑰ 直流電動機の世界変動率は、 $\nu = \frac{n_0 - n_n}{n_n} \times 100$ で表される。▶ p.51

章末問題

A

- 1 極数 p が 6、電機子導体数 Z が 408、各磁極の磁束 ϕ が 0.01 Wb、並列回路数 a が 2 の分巻発電機がある。誘導起電力 E を 200 V 発生するには、回転速度 n [min^{-1}] をいくらしなければならないか求めよ。
- 2 直流機の整流子に発生する火花の原因をあげよ。 5
- 3 他励発電機がある。回転速度 n が 1500 min^{-1} のとき、誘導起電力 E が 200 V であった。いま、この発電機の界磁電流を一定に保ち、回転速度 n を 1200 min^{-1} にした。このときの誘導起電力 E [V] を求めよ。
- 4 直流電動機の始動には、始動抵抗器を必要とする。なぜか。
- 5 分巻電動機を速度を制御する方法を三つあげ、説明せよ。 10
- 6 分巻電動機がある。端子電圧 V が 210 V、電機子電流 I_a が 30 A、電機子巻線抵抗 R_a が 0.2Ω 、回転速度 n が 1500 min^{-1} のとき、発生トルク T [$\text{N}\cdot\text{m}$] を求めよ。ただし、電機子反作用の影響、ブラシ接触電圧降下は無視する。
- 7 端子電圧 V が 210 V、電機子電流 I_a が 50 A、電機子巻線抵抗 R_a が 0.1Ω 、回転速度 n が 1500 min^{-1} で運転中の分巻電動機がある。同一電流において、端子電圧を 180 V に下げたときの回転速度 n [min^{-1}] を求めよ。ただし、電機子反作用およびブラシ接触電圧降下は無視する。 15

B

- 1 定格出力 P_n が 10 kW、電機子巻線抵抗 R_a が 0.12Ω の他励発電機がある。全負荷で運転中の端子電圧 V が 200 V であるとき、無負荷時の端子電圧 V_0 [V] を求めよ。ただし、電機子反作用による影響、ブラシ接触電圧降下は無視する。 20
- 2 定格電圧 V_n が 110 V、定格出力 P_n が 5 kW の他励発電機がある。定格電圧、定格電流で運転中に無負荷にしたら、端子電圧が 123 V になった。電圧変動率 ε [%] を求めよ。また、電機子巻線抵抗 R_a [Ω] を求めよ。ただし、電機子反作用による電圧降下 v_a を 2.4 V、ブラシ接触電圧降下 v_b を 1.5 V とする。
- 3 定格出力 P_n が 10 kW、定格電流 I_n が 50 A、電機子巻線抵抗 R_a が 0.4Ω の他励電動機がある。 25
始動電流 I_s を 75 A に制限するための始動抵抗 R [Ω] を求めよ。
- 4 定格電圧 V_n が 110 V の分巻電動機がある。回転速度 n を 1200 min^{-1} で運転しているとき、負荷電流 I が 52 A、界磁電流 I_f が 2 A であるという。このときの効率 η [%] および発生トルク T [$\text{N}\cdot\text{m}$] を求めよ。ただし、電機子回路の抵抗 R_a を 0.2Ω とし、鉄損と機械損は無視する。 30