

## ま え が き

電気機器学というのはとかく古めかしい分野の学問のように考えられることがある。歴史があるという意味では古いといえるが、他の電気関係の分野と同じように日々進歩していることに変わりはない。発電機、電動機の発明から始まり、各種の機器が改良、検討されてきたが、それらはすべて電気エネルギーの発生、輸送、変換などの役割を担う重要なものであった。また、これらの役割をいかに効率良く行うかという観点から、種々の理論的な検討などがなされ、エネルギー変換や制御を行う機器や素子の発達へ結びついたと考えることができる。その結果、各種のエネルギー源から電気エネルギーへの変換が容易であることに加え、電気エネルギー自身が変換効率が高いものであるという現在の評価を得るに至った。単なるひらめきや思いつきではなく、多くの先人達の努力と工夫の結果である。

努力と進歩の結果は、一方で電気工学に関する領域の拡大を招き、大学のみならず高専においても新しい科目が順次導入されてきた。電気機器の分野にもパワーエレクトロニクスが取り入れられてきた。しかしながら、現状ではカリキュラムの見直しなどにより電気機器の単位数が削減され、そのために内容もある程度制限されてきた。そのような中で、電気機器学が電気工学における基礎科目であり、電気機器に関する知識が他分野、特にエネルギー関連の分野を理解するときにおおいに役立つ重要な科目であることに変わりはない。実際に電気機器について学習しようとするとき、電気磁気や電気回路の知識に加え、機器の立体的な構造をイメージして把握する能力が必要となる。このように、電気機器学が複合的な能力を要求する科目であることが、電気機器学は理解しにくいという印象を与えているのではないかという懸念もある。

以上のことを考慮して、本書の執筆に当たっては、電気、電子、情報工学の

各分野において電気機器を初めて学ぶ工業高専や大学学部程度の学生を対象に、ページ数を履修時間内で消化できるものとし、難しい数式の使用を避け、電気磁気や電気回路の基礎知識があれば理解できるように留意した。最も基本的な各種機器の動作原理と特性に加え、最新の機器についても記述しているが、立体的な図面を多く使用することで機器の構造をイメージしやすくすることに努めた。

電気機器は電気と磁気の相互作用を利用したものといえる。そのため、第1章では電気磁気学の基礎事項と機器に使用される磁気材料について述べている。第2章から第5章までの各章では、それぞれ基本とされる直流機、変圧器、誘導機および同期機について、動作原理、構造、諸特性などを説明している。ロボットや情報機器の多様化する用途に合わせて開発された新しい機器についても紹介している。また、演習問題は動作原理や運転方法を理解するために必要な基本的問題を厳選した。このような意図で記述した本書が、学生諸君が電気機器を理解する一助となれば望外の喜びである。

本書の執筆に当たり、多くの電気機器関係の著書を参考にさせていただき、著者の方々に厚くお礼を申し上げます。また、記述の正確さには十分注意したつもりであるが、誤りや不備な点も多々あることと思われる。読者の方々からご教示、ご叱正をいただければ幸いである。終わりに、ご指導、ご鞭撻をいただいた編集委員およびコロナ社の各位に感謝の意を表す。

2000年12月

著 者

# 目 次

## 1. 電気機器の基礎事項

|       |              |    |
|-------|--------------|----|
| 1.1   | エネルギー変換と電気機器 | 1  |
| 1.2   | 電磁気の基礎事項     | 4  |
| 1.2.1 | 電流の磁気作用と電磁力  | 4  |
| 1.2.2 | 電 磁 誘 導      | 5  |
| 1.2.3 | 磁 気 回 路      | 7  |
| 1.3   | 発電機作用と電動機作用  | 9  |
| 1.4   | 電気機器用材料      | 11 |
| 1.4.1 | 導 電 材 料      | 11 |
| 1.4.2 | 磁 性 材 料      | 12 |
| 1.4.3 | 絶 縁 材 料      | 15 |
|       | 演習問題         | 17 |

## 2. 直 流 機

|       |           |    |
|-------|-----------|----|
| 2.1   | 直流機の原理    | 20 |
| 2.1.1 | 直流発電機の原理  | 20 |
| 2.1.2 | 直流電動機の原理  | 22 |
| 2.2   | 直流機の構造    | 23 |
| 2.2.1 | 直流機の基本構成  | 23 |
| 2.2.2 | 電 機 子 巻 線 | 25 |
| 2.3   | 直流機の理論    | 28 |
| 2.3.1 | 誘 導 起 電 力 | 28 |
| 2.3.2 | ト ル ク     | 29 |

|       |              |    |
|-------|--------------|----|
| 2.3.3 | 直流機の回路表現と基本式 | 30 |
| 2.3.4 | 電機子反作用       | 31 |
| 2.3.5 | 整 流          | 34 |
| 2.4   | 直流発電機の種類と特性  | 38 |
| 2.4.1 | 直流発電機の種類     | 38 |
| 2.4.2 | 定 格          | 39 |
| 2.4.3 | 直流発電機の特性     | 40 |
| 2.5   | 直流電動機の種類と特性  | 44 |
| 2.5.1 | 直流電動機の種類     | 44 |
| 2.5.2 | 直流電動機の特性     | 46 |
| 2.6   | 直流電動機の運転     | 51 |
| 2.6.1 | 直流電動機の過渡動作   | 51 |
| 2.6.2 | 直流電動機の始動     | 52 |
| 2.6.3 | 直流電動機の手速度制御  | 54 |
| 2.6.4 | 直流電動機の制動、逆転  | 57 |
| 2.7   | 直流機の損失、効率    | 58 |
| 2.7.1 | 損 失          | 58 |
| 2.7.2 | 効 率          | 59 |
|       | 演習問題         | 62 |

### 3. 変 圧 器

|       |                |    |
|-------|----------------|----|
| 3.1   | 変圧器の原理         | 65 |
| 3.1.1 | 電圧変換の原理        | 65 |
| 3.1.2 | 負荷時の動作         | 68 |
| 3.2   | 変圧器等価回路        | 69 |
| 3.2.1 | 巻線抵抗および漏れ磁束の影響 | 69 |
| 3.2.2 | 励磁回路           | 71 |
| 3.2.3 | 変圧器等価回路        | 72 |
| 3.2.4 | 等価回路定数の測定      | 78 |
| 3.3   | 変圧器特性          | 80 |

|       |            |     |
|-------|------------|-----|
| 3.3.1 | 定 格        | 80  |
| 3.3.2 | 電 圧 変 動 率  | 80  |
| 3.3.3 | 損失および効率    | 82  |
| 3.4   | 変圧器の構造     | 86  |
| 3.4.1 | 変圧器の基本構成   | 86  |
| 3.4.2 | 鉄心および巻線    | 87  |
| 3.4.3 | 変圧器付属設備    | 89  |
| 3.4.4 | 冷 却 方 式    | 90  |
| 3.5   | 変圧器の結線     | 92  |
| 3.5.1 | 変圧器の極性     | 92  |
| 3.5.2 | 単相変圧器の三相結線 | 93  |
| 3.5.3 | 変圧器の並行運転   | 99  |
| 3.6   | 各種の変圧器     | 100 |
| 3.6.1 | 単 巻 変 圧 器  | 100 |
| 3.6.2 | 三 相 変 圧 器  | 101 |
| 3.6.3 | 計器用変成器     | 103 |
|       | 演習問題       | 105 |

## 4. 誘 導 機

|       |               |     |
|-------|---------------|-----|
| 4.1   | 三相誘導電動機の原理と構造 | 108 |
| 4.1.1 | 三相誘導電動機の原理    | 108 |
| 4.1.2 | 誘導電動機の種類と構造   | 113 |
| 4.2   | 三相誘導電動機の理論    | 116 |
| 4.2.1 | 起磁力と誘導起電力     | 116 |
| 4.2.2 | 誘導電動機の等価回路    | 120 |
| 4.2.3 | 回路定数の算定       | 126 |
| 4.3   | 三相誘導電動機の特 性   | 128 |
| 4.3.1 | 電 流 と 力 率     | 129 |
| 4.3.2 | 入出力と損失        | 129 |
| 4.3.3 | ト ル ク         | 130 |
| 4.3.4 | 最大トルクと最大出力    | 131 |

|                 |     |
|-----------------|-----|
| 4.3.5 比例推移      | 132 |
| 4.4 三相誘導電動機の運転  | 133 |
| 4.4.1 始動法       | 133 |
| 4.4.2 速度制御法     | 139 |
| 4.4.3 逆転法       | 142 |
| 4.4.4 制動法       | 142 |
| 4.5 単相誘導電動機     | 143 |
| 4.5.1 動作原理      | 144 |
| 4.5.2 二相回転磁界    | 146 |
| 4.5.3 始動方法による分類 | 147 |
| 4.6 誘導電圧調整器     | 150 |
| 4.6.1 単相誘導電圧調整器 | 150 |
| 4.6.2 三相誘導電圧調整器 | 152 |
| 演習問題            | 154 |

## 5. 同期機

|                    |     |
|--------------------|-----|
| 5.1 同期発電機の原理       | 156 |
| 5.2 同期発電機の構造と種類    | 157 |
| 5.2.1 回転界磁形と回転電機子形 | 157 |
| 5.2.2 原動機による分類     | 158 |
| 5.3 同期発電機の理論       | 160 |
| 5.3.1 誘導起電力        | 160 |
| 5.3.2 電機子反作用       | 162 |
| 5.3.3 等価回路         | 164 |
| 5.4 同期発電機の特 性      | 167 |
| 5.4.1 同期発電機の出力     | 167 |
| 5.4.2 同期発電機の特 性曲線  | 168 |
| 5.5 同期発電機の並行運転     | 174 |
| 5.5.1 運転条件と方法      | 174 |
| 5.5.2 異常現象         | 175 |

|       |              |     |
|-------|--------------|-----|
| 5.6   | 同期電動機        | 177 |
| 5.6.1 | 同期電動機の原理     | 177 |
| 5.6.2 | 同期電動機の始動法と種類 | 177 |
| 5.6.3 | 同期電動機の特 性    | 178 |
| 5.7   | その他の電動機      | 181 |
| 5.7.1 | 交流整流子電動機     | 181 |
| 5.7.2 | サーボモータ       | 182 |
| 5.7.3 | ステップモータ      | 185 |
| 5.7.4 | ブラシレス DC モータ | 188 |
| 5.7.5 | リニアモータ       | 189 |
| 5.7.6 | 超音波モータ       | 190 |
|       | 演習問題         | 193 |
|       | 参 考 文 献      | 195 |
|       | 演習問題解答       | 196 |
|       | 索 引          | 206 |

---

# 電気機器の基礎事項

現在の豊かな社会は、大量のエネルギーを使用することにより支えられている。人類のエネルギー利用は木などを燃やして暖房用としたり、食料を加工したことに始まる。つぎに、水車、風車、家畜などを使用し、労働力の軽減を図るようになり、さらに、蒸気機関の発明によって必要なときに必要な場所で機械エネルギーが得られるようになってからエネルギーの利用が本格化した。現在では技術の進歩によりさまざまな形でエネルギーの利用がなされるようになってきているが、これらの中で特に、電気エネルギーが重要な位置を占めるようになってきている。ここでは電気エネルギーと他のエネルギーとの相互変換およびエネルギー変換を行うための機械器具すなわち、電気機器の種類について述べる。また、電気機器は電気と磁気の相互作用を利用したものがほとんどであるから、電気機器の動作原理を学ぶ上で重要な電磁気の基礎事項について説明するとともに、電気機器に使用される材料の基本的な性質についても説明する。

## 1.1 エネルギー変換と電気機器

地球上にはさまざまな形のエネルギーが存在するが、その中で実際に利用されているものは、石油、石炭、天然ガス、原子力などの化学エネルギー、太陽熱、地熱などの熱エネルギー、水力、風力などの機械エネルギーなどである。これに対し、毎日の生活に必要なものとしては暖房などに使われる熱エネルギー、照明などに使われる光エネルギー、肥料、薬品用などに使われる化学エネルギー、家庭、工場、交通機関などの動力に使われる機械エネルギーなどがあげられる。したがって、電気エネルギーは、本来地球上に利用できるような形



で存在するものでもなく、また、毎日の生活に直接役に立つものでもない。それにもかかわらず、電気エネルギーが重要な位置を占めているのはつぎのような理由による。一つは、電気エネルギーがもつエネルギー変換の多様性があり、一例を図 1.1 に示す。

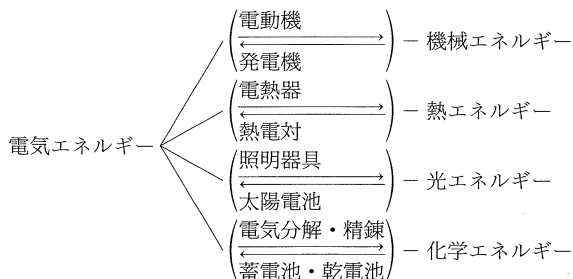


図 1.1 電気エネルギーの変換

すなわち、地球上に存在する各種のエネルギーは容易に電気エネルギーに変換でき、さらにこれを毎日の生活に必要な熱、光、化学、機械エネルギーなどの他のエネルギーにも容易に変換できることにある。また、電気エネルギーは電圧の大小、周波数の高低などそれ自身の形態の変換が効率よく簡単に行えるため、輸送・配分、制御が容易である。さらに、エネルギー変換時の自然環境への影響が少ないクリーンなエネルギーであり、安全性が高いことも重要である。

このような、電気エネルギーと他のエネルギーとの相互変換および電気エネルギーの間の相互変換を行う各種の機械器具を広い意味では電気機器という。しかしながら実際には、もう少し狭い意味に限定したものを**電気機器** (electrical machinery and apparatus) と呼ぶことが多く、図 1.2 のように分類される。

電気機器はまず、**回転機**と回転部分を有しない**静止器**に分けられる。回転機は機械エネルギーを電気エネルギーに変換する**発電機**と逆に電気エネルギーを機械エネルギーに変換する**電動機**に分けられるが、両者の基本的な構造は同じであり、たがいに可逆的な動作をするものが多い。そして、発電機、電動機と

|         |   |       |       |       |       |
|---------|---|-------|-------|-------|-------|
| (1) 回転機 | (a) 発電機                                 | } 直流機 | } 交流機 | } 単相機 | } 同期機 |
|         | (b) 電動機                                 |       |       |       |       |
| (2) 静止器 | (a) 変圧器                                 |       |       |       |       |
|         | (b) コンデンサ                               |       |       |       |       |
|         | (c) リアクトル                               |       |       |       |       |
|         | (d) 半導体電力変換装置<br>(整流装置, 周波数変換装置, 電圧変換器) |       |       |       |       |

図 1.2 電気機器の分類

もに電気エネルギーの形態により**直流機**と**交流機**に分けられ、交流機はさらに単相と三相に分けられる。また、交流機は、周波数と回転数との関係から**同期機**と**非同期機 (誘導機)**に分けられ、周波数と回転数がつねに一定の関係にあるものを同期機、そうでないものを非同期機と呼ぶ。

これらの各種回転機のおもな用途はつぎのようである。電気エネルギーの発生の大部分は発電機によっており、電力系統では 50 または 60 Hz の三相交流が使用され、発電所では三相交流発電機 (同期発電機) が用いられている。一方、電気エネルギーの約半分は電動機により機械的なエネルギーに変換されて使用されており、電動機の用途はきわめて広がってきている。自動車などのように電源が電池であり直流に限られるところおよび鉄道などのように精密な速度制御が要求される場所では直流機が使用される。また、一般の動力源としては構造が簡単で、堅牢、保守点検の容易な誘導機が使用され、工場などの大容量のものには三相誘導電動機、家庭用の小容量の動力としては単相誘導電動機が用いられている。なお、誘導電動機は従来は精密な速度制御を必要としないところで使用されてきたが最近では技術の進歩により精密な速度制御が可能となりこのような用途にも使用されている。このほか、多様化する用途に合わせて各種の電動機が開発され、直流電動機の整流子、ブラシの働きを半導体素子に置き換えた**ブラシレスモータ**や歩進的動作をする**ステッピングモータ (パルスモータ)**、直接直線運動をさせる**リニアモータ**なども使用されるようになっていく。

静止器の代表的なものは**変圧器**であり、電気エネルギーを効率的に輸送・配

分するために使用される電力用の大容量のものから、電子、通信機器に使用される小容量のものまで各種のものがある。なお、電力システムの力率改善、高調波の軽減を図り電力を安定に供給するためコンデンサやリアクトルが使用され、各種の電気機器の精密な制御のため、半導体素子を用いた電圧、周波数などの変換器が使用されるがこれらについては本書では取り扱わないこととする。

## 1.2 電磁気の基礎事項

### 1.2.1 電流の磁気作用と電磁力

磁石の周囲では磁性体に吸引または反発力が働く。このような磁気的な力が作用をする空間を**磁界** (magnetic field) と呼ぶ。図 1.3 のように導体に電流を流すとその周囲に磁界ができ、 $r$ [m] 離れた点の**磁界の強さ** (magnetic field strength)  $H$  は次式となる。ただし、右ねじの進む向きを電流の向きにとったとき、ねじを回す向きが磁界の向きとなり、磁力線を用いて表す。なお、その本数は磁界の強さに比例し、ある面を通る磁力線の総数を磁束と呼び単位には Wb が用いられる。

$$H = \frac{I}{2\pi r} \quad [\text{A/m}] \quad (1.1)$$

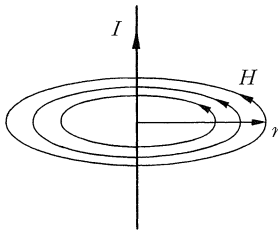


図 1.3 電流による磁界

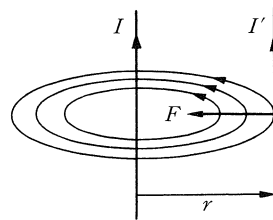


図 1.4 電磁力

図 1.4 のようにこの磁界中に導体をおき、電流  $I'$  を流すとこれに力を生じ、その単位長さ当りの大きさは次式となる。ただし、 $\mu$  は導体の周辺の物質により決まる定数で**透磁率** (permeability) と呼ばれる。

$$F = \frac{\mu I I'}{2\pi r} = \mu H I' \quad [\text{N}] \quad (1.2)$$

$\mu H$  は物質による磁界の違いを直接示すため磁界による力を求めるのに使用され、 $B$  で表して**磁束密度** (magnetic flux density) と呼び、単位には T が用いられる。なお、地磁気は  $5 \times 10^{-5}$  T 程度であるのに対し、回転機では 0.5 T、変圧器では 1.5 T 程度となる。

$$B = \mu H \quad [\text{T}] \quad (1.3)$$

したがって、導体の長さを  $L$  [m] とすると導体に働く力  $F$  は次式となる。

$$F = I' B L \quad [\text{N}] \quad (1.4)$$

すなわち、1 T の磁界中に長さ 1 m の導体をおき、1 A の電流を流すと 1 N の力を生ずることになる。磁界、電流の向きに対し、力の向きは図 1.5 のようになり、**フレミングの左手の法則** (Fleming's left hand rule) と呼ばれる。

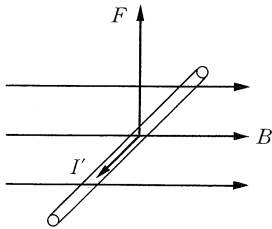


図 1.5 フレミングの左手の法則

### 1.2.2 電 磁 誘 導

図 1.6 のようにコイルの近くに磁石をおいて磁束がコイルと交わるようにし、磁石を動かしてコイルと交わる磁束を変化させるとコイルには起電力が誘導される。この場合の起電力の方向は磁束の変化を妨げる方向となる。すなわち、磁石を近づけた場合にはコイルと交わる磁束は増加するから、発生した起電力による電流に基づく磁束はコイルと交わる磁束を減少させるように作用し、図の実線の方向となる。これに対し、磁石を遠ざけた場合にはコイルと交わる磁束は減少するから、発生した起電力による電流に基づく磁束はコイルと交わる磁束を増加させるように作用し、図の破線方向となる。これを、**レン**

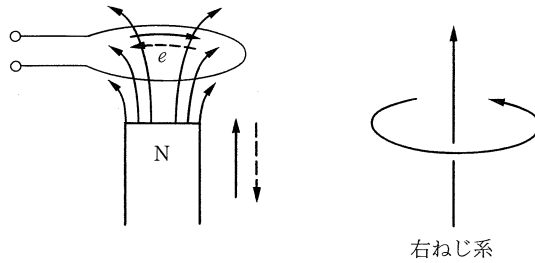


図 1.6 電磁誘導現象

ツの法則 (Lenz's law) という。

また、誘導起電力の大きさは磁束の変化の割合に比例し、巻数  $w$  に比例する。これを**電磁誘導** (electromagnetic induction) の**法則**と呼ぶ。右ねじを回す方向とこれが進む方向との関係を**右ねじ系** (right-handed thread) と呼び、起電力の正方向とこの起電力による電流に基づく磁束の正方向との関係を右ねじ系にとると誘導起電力は、次式で表される。

$$e = -w \frac{d\phi}{dt} \quad [\text{V}] \quad (1.5)$$

すなわち、1秒間に1Wbの磁束が変化するとコイル1回当たり1Vの起電力が誘導されることになる。図1.7のように、磁束密度が  $B$  [T] の磁界中において長さ  $L$  [m] の導体を時間  $dt$  の間に距離  $dx$  だけ動かした場合の磁束の変化は磁束密度に導体が動いた面積をかけたものであり、 $d\phi = BLdx$  となる。したがって、導体1本に誘導される起電力の大きさは式 (1.5) より次式とな

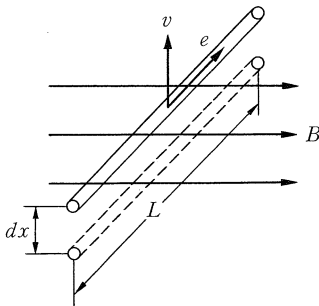


図 1.7 フレミングの右手の法則

る。

$$e = BL \frac{dx}{dt} \quad [\text{V}]$$

ここで、 $dx/dt$  は導体の速度であり、これを  $v$  [m/s] とすると次式が得られ、起電力の方向は図 1.7 のようになり、**フレミングの右手の法則** (Fleming's right hand rule) と呼ばれる。

$$e = vBL \quad [\text{V}] \quad (1.6)$$

### 1.2.3 磁気回路

電動機や発電機を動作させるには強い磁界が必要であり、小型のものでは永久磁石が用いられるが一般には電磁石が使用される。図 1.8 のように透磁率が  $\mu$  の磁性材料を用いて磁束の通路を構成し、巻数が  $w$  の巻線を施し、電流  $I$  を流すと、磁界の強さおよび磁束密度は次式となる。ただし、磁束の通路の平均の長さを  $L$  とする。

$$H = \frac{wI}{L}, \quad B = \mu H = \frac{\mu wI}{L} \quad [\text{T}] \quad (1.7)$$

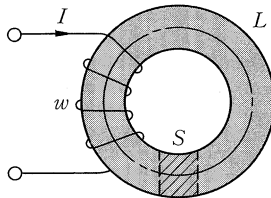


図 1.8 磁気回路

断面積を  $S$  とすると磁束は次式となる。

$$\phi = SB = \frac{\mu wIS}{L} \quad [\text{Wb}] \quad (1.8)$$

この場合、磁束は電流および巻数に比例するから、この積は磁束を発生させる基になる力であり、**起磁力** (magnetomotive force) と呼び  $F = wI$  で表すと磁束は次式で表される。

$$\phi = \frac{F}{R} \quad [\text{Wb}] \quad (1.9)$$

ただし、 $R$  は磁束の通路を構成する磁性材料の種類および寸法で決まるもので磁気抵抗 (reluctance) と呼ばれ、次式となる。

$$R = \frac{L}{\mu S} \quad (1.10)$$

これらを、図 1.9 の電気回路と比較して考えると起電力に相当するものが起磁力であり、電流は磁束、電気抵抗は磁気抵抗に相当し、磁束の通路を磁気回路 (magnetic circuit) と呼ぶ。

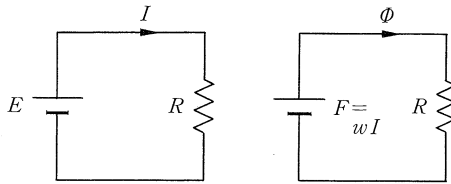


図 1.9 電気回路と磁気回路

回転機などでは回転子と固定子の間に隙間 (ギャップ (gap)) があり、ここでは磁束は空気中を通ることになり、磁気回路の一部が異なった材料で構成されることが多い。この場合の磁気回路は図 1.10 のようになり、全磁気抵抗は次式となる。ただし、空気の透磁率を  $\mu_0$ 、ギャップの長さを  $L_g$ 、材料  $a$  の部分の長さを  $L_a$ 、面積を  $S_a$ 、透磁率を  $\mu_a$ 、材料  $b$  の部分の長さを  $L_b$ 、面積を  $S_b$ 、透磁率を  $\mu_b$  とする。

$$R = R_g + R_a + R_b$$

$$R_a = \frac{L_a}{\mu_a S_a}, \quad R_b = \frac{L_b}{\mu_b S_b}, \quad R_g = \frac{L_g}{\mu_0 S_b} \quad (1.11)$$

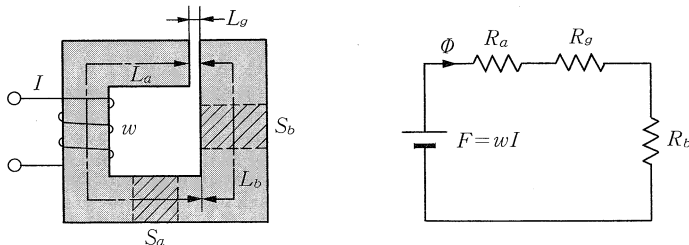


図 1.10 直列磁気回路

# 索 引

|            |            |            |            |              |         |
|------------|------------|------------|------------|--------------|---------|
| <b>【あ】</b> | 重ね巻        | 26         | コンサベータ     | 89           |         |
| 油入自冷式変圧器   | 91         | 簡易等価回路     | 77, 126    | コンデンサ始動形单相誘導 |         |
| 油入風冷式変圧器   | 91         | 乾式変圧器      | 91         | 電動機          | 148     |
| 油入変圧器      | 91         | 巻線係数       | 119        | <b>【さ】</b>   |         |
| アラゴの実験     | 108        | 巻線形誘導電動機   | 115        | 最大出力         | 132     |
| <b>【い】</b> | <b>【き】</b> | 機械損        | 58         | 最大トルク        | 131     |
| 位相器        | 154        | 起磁力        | 7          | 鎖 巻          | 162     |
| 一次負荷電流     | 69         | 規約効率       | 60         | サーボモータ       | 182     |
| 一次変換       | 124        | 脚 鉄        | 86         | 三角結線         | 95      |
| 一次巻線       | 66         | 逆転制動       | 58, 143    | 三相結線         | 93      |
| <b>【う】</b> | ギャップ       | 8          | 三相変圧器      | 102          |         |
| 渦電流損       | 14         | 極数切換       | 141        | 三相誘導電圧調整器    | 152     |
| <b>【え】</b> | 極ピッチ       | 25         | 三相誘導電動機    | 108          |         |
| 永久磁石式電動機   | 44         | <b>【く】</b> | <b>【し】</b> | 磁 界          | 4       |
| 永久磁石式発電機   | 39         | くま取り電動機    | 149        | 磁界の強さ        | 4       |
| 円形板コイル     | 89         | <b>【け】</b> | 磁化作用       | 163          |         |
| エンジン発電機    | 160        | 計器用変圧器     | 103        | 磁化電流         | 72      |
| 円筒コイル      | 89         | 計器用変成器     | 103        | 磁化特性         | 13      |
| <b>【か】</b> | けい素鋼板      | 14         | 磁気回路       | 8            |         |
| 界 磁        | 24         | 継 鉄        | 24, 86     | 磁気抵抗         | 8       |
| 界磁制御法      | 55         | 結合係数       | 78         | 磁気飽和現象       | 13      |
| 回生制動       | 57, 143    | ゲルゲス現象     | 137        | 磁 極          | 24      |
| 外鉄形変圧器     | 86         | 減極性        | 93         | 自己容量         | 101     |
| 回転界磁形      | 157        | 減磁作用       | 163        | 自己励磁         | 42, 173 |
| 回転子        | 110        | <b>【こ】</b> | 磁 心        | 12           |         |
| 回転磁界       | 110        | コアレスモータ    | 184        | 磁束密度         | 5       |
| 回転電機子形     | 158        | 交差磁化作用     | 163        | 次同期運転        | 138     |
| 外部特性曲線     | 40, 172    | 効 率        | 59, 84     | 始動抵抗器        | 53      |
| 加極性        | 93         | 交流整流子電動機   | 181        | 始動電流         | 53      |
| かご形誘導電動機   | 115        | 固定子        | 110        | 始動補償器        | 135     |
|            |            |            |            | 自励電動機        | 45      |
|            |            |            |            | 自励発電機        | 39      |



|            |     |              |             |              |        |
|------------|-----|--------------|-------------|--------------|--------|
| 深溝かご形      | 116 | 短絡比          | 169         | 同期速度         | 112    |
| <b>【す】</b> |     | <b>【ち】</b>   |             | 同期発電機        | 174    |
| 水車発電機      | 158 | 超音波モータ       | 190         | 同期リアクタンス     | 164    |
| ステッピングモータ  | 185 | 調整電圧         | 150         | 同期ワット        | 130    |
| すべり        | 113 | 直軸反作用        | 164         | 透磁率          | 4      |
| すべり周波数     | 123 | 直巻電動機        | 46          | 銅 損          | 59, 83 |
| スリップリング    | 116 | 直巻発電機        | 39          | トルク          | 29     |
| スロット       | 24  | 直列巻線         | 150         | トルク特性曲線      | 46     |
| <b>【せ】</b> |     | 直列抵抗制御法      | 55          | <b>【な】</b>   |        |
| 成層鉄心       | 24  | <b>【つ】</b>   |             | 内鉄形変圧器       | 86     |
| 制 動        | 57  | 積み鉄心         | 87          | 内部起電力        | 164    |
| 制御巻線       | 177 | <b>【て】</b>   |             | 内部相差角        | 165    |
| 精密等価回路     | 126 | 定 格          | 40, 80      | 波 巻          | 28     |
| 整 流        | 34  | 定格出力         | 40          | <b>【に】</b>   |        |
| 整流曲線       | 36  | 定格速度         | 40          | 二次抵抗制御       | 139    |
| 整流子        | 22  | 定格電圧         | 40, 80      | 二次巻線         | 66     |
| 整流時間       | 35  | 定格電流         | 40, 80      | 二重かご形        | 116    |
| 占積率        | 88  | 定格容量         | 80          | 二次励磁         | 142    |
| 全日効率       | 85  | 抵抗整流         | 37          | 二相回転磁界       | 146    |
| 全負荷飽和曲線    | 170 | 定速度電動機       | 47          | 2層巻          | 25     |
| <b>【そ】</b> |     | 鉄機械          | 170         | 二電動機理論       | 144    |
| 送油自冷式変圧器   | 92  | 鉄 心          | 12          | <b>【は】</b>   |        |
| 送油風冷式変圧器   | 92  | 鉄 損          | 14, 59      | はずみ車効果       | 160    |
| 速度制御       | 54  | 鉄損電流         | 72          | パーセント(百分率)同期 |        |
| 速度特性曲線     | 46  | 電圧制御法        | 55          | インピーダンス      | 169    |
| 速度トルク特性曲線  | 46  | 電圧整流         | 37          | 発電制動         | 57     |
| 速度変動率      | 48  | 電圧変動率        | 41, 80, 172 | パルスモータ       | 185    |
| <b>【た】</b> |     | 電機子          | 23          | <b>【ひ】</b>   |        |
| タービン発電機    | 159 | 電機子反作用       | 31          | 引き入れトルク      | 178    |
| 他励電動機      | 45  | 電機子反作用リアクタンス | 164         | ヒステリシス現象     | 13     |
| 他励発電機      | 39  | 電氣的中性軸       | 33          | ヒステリシス損      | 13     |
| 単位法        | 166 | 電磁誘導の法則      | 6           | 百分率抵抗降下      | 81     |
| 短節巻係数      | 119 | <b>【と】</b>   |             | 百分率リアクタンス降下  | 81     |
| 单相誘導電圧調整器  | 150 | 同期インピーダンス    | 164         | 漂遊負荷損        | 83     |
| 单相誘導電動機    | 143 | 銅機械          | 170         | 比例推移         | 132    |
| 単巻変圧器      | 100 | 同期化電流        | 176         | <b>【ふ】</b>   |        |
| 端絡環        | 115 | 同期化力         | 176         | 風 損          | 58     |
| 短絡曲線       | 169 | 同期機          | 156         | 負荷角          | 165    |
| 短絡試験       | 79  |              |             |              |        |

|              |          |            |        |            |         |
|--------------|----------|------------|--------|------------|---------|
| 負荷損          | 58, 83   |            |        | 漏れりアクタンス   | 71, 164 |
| 負荷飽和曲線       | 170      | <b>【ほ】</b> |        | <b>【ゆ】</b> |         |
| 複巻電動機        | 46       | 飽和率        | 169    | 誘導機        | 108     |
| 複巻発電機        | 39       | 補 極        | 37     | 誘導電動機      | 110     |
| ブッシング        | 89       | 星形結線       | 94     | <b>【よ】</b> |         |
| ブラシ          | 22       | 補償巻線       | 34     | 横軸反作用      | 164     |
| ブラシレスモータ     | 188      | <b>【ま】</b> |        | <b>【ら】</b> |         |
| フレミングの左手の法則  | 5        | 巻数比        | 66     | 乱 調        | 177     |
| フレミングの右手の法則  | 7        | 摩擦損        | 58     | <b>【り】</b> |         |
| 分相始動形单相誘導電動機 | 148      | <b>【み】</b> |        | 理想変圧器      | 72      |
| 分布巻係数        | 118      | 右ねじ系       | 6      | リニアモータ     | 189     |
| 分巻電動機        | 45       | <b>【む】</b> |        | <b>【れ】</b> |         |
| 分巻発電機        | 39       | 無負荷試験      | 79     | 冷却方式       | 91      |
| 分路巻線         | 150      | 無負荷損       | 58, 83 | 励磁アドミタンス   | 72      |
| <b>【へ】</b>   |          | 無負荷電流      | 72     | 励磁電流       | 72      |
| 並行運転         | 100, 174 | 無負荷特性曲線    | 40     | 零力率負荷飽和曲線  | 170     |
| 変圧器等価回路      | 74       | 無負荷飽和曲線    | 168    | レンツの法則     | 5       |
| 変速度電動機       | 49       | <b>【も】</b> |        |            |         |
| 変流器          | 103      | 漏れ磁束       | 70     |            |         |

**【V】**

|      |     |
|------|-----|
| V 曲線 | 180 |
| V 結線 | 97  |

**【Y】**

|                |     |
|----------------|-----|
| Y- $\Delta$ 始動 | 134 |
|----------------|-----|

— 著者略歴 —

前田 勉 (まえだ つとむ)

1970年 富山大学工学部電気工学科卒業  
1972年 富山大学大学院工学研究科修了  
(電気工学専攻)  
1972年 石川工業高等専門学校助手  
1979年 石川工業高等専門学校助教授  
1988年 石川工業高等専門学校教授  
1995年 博士(工学)(金沢大学)  
2007年 石川工業高等専門学校名誉教授

新谷 邦弘 (しんや くにひろ)

1970年 福井大学工学部電気工学科卒業  
1970年 福井工業高等専門学校助手  
1979年 福井工業高等専門学校講師  
1982年 福井工業高等専門学校助教授  
1988年 工学博士(九州大学)  
1991年 福井工業高等専門学校教授  
2010年 福井工業高等専門学校名誉教授

電気機器工学

Electric Machinery

© Tsutomu Maeda, Kunihiro Shinya 2001

2001年 2月16日 初版第1刷発行

2014年 3月10日 初版第13刷発行

検印省略

著者 前田 勉

新谷 邦弘

発行者 株式会社 コロナ社

代表者 牛来真也

印刷所 壮光舎印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-01199-9

(宮尾) (製本: グリーン)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられております。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします