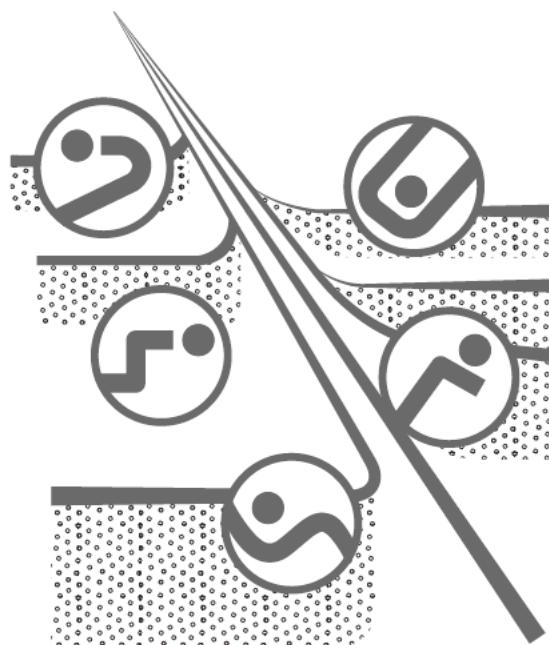


実務に役立つ機械シリーズ

—機械工学・材料コース—

NO.1

# 機械工学



コガク

---

# 目 次

---

学習のねらい .....	1
<b>第1週 材料力学 .....</b>	<b>3</b>
1.1 力の表し方 .....	4
1.1.1 重さと質量の関係 .....	4
1.1.2 力のモーメント .....	5
1.1.3 モーメントの和 .....	5
1.1.4 隅力 .....	7
1.1.5 力のつり合い .....	8
1.2 応力とひずみ .....	11
1.2.1 フックの法則 .....	11
1.2.2 垂直応力 .....	11
1.2.3 垂直ひずみとポアソン比 .....	12
1.2.4 応力－ひずみ曲線 .....	13
1.3 せん断 .....	16
1.3.1 せん断応力 .....	16
1.3.2 せん断ひずみ .....	17
1.4 はりの曲げ .....	19
1.4.1 はりに加わる力 .....	19
1.4.2 はりのつり合い .....	20
1.4.3 せん断力と曲げモーメント .....	21
1.4.4 せん断力図と曲げモーメント図 .....	22
1.4.5 断面2次モーメント .....	25
1.4.6 ねじりモーメント .....	27
1.4.7 応力集中 .....	28
『まとめと練習問題』 .....	30
<b>第2週 流体力学 .....</b>	<b>33</b>
2.1 流体と流れの性質 .....	34

2.1.1 流体の性質 .....	34
2.1.2 流体と流れ .....	35
2.2 流体静力学 .....	36
2.2.1 圧力と測定法 .....	36
2.2.2 浮力 .....	38
2.2.3 理想流体 .....	39
2.2.4 連続の式 .....	41
2.3 流体動力学 (1) .....	41
2.3.1 運動方程式 .....	41
2.3.2 ベルヌーイの定理 .....	42
2.3.3 ベルヌーイの定理の応用 .....	43
2.4 流体動力学 (2) .....	47
2.4.1 層流と乱流 .....	47
2.4.2 管内の流れ .....	48
2.4.3 摩擦損失 .....	50
2.4.4 境界層 .....	52
2.4.5 抗力と揚力 .....	53
『まとめと練習問題』 .....	57

第3週 熱力学 .....	59
3.1 圧力と温度の単位 .....	60
3.1.1 SI 単位系 .....	61
3.1.2 圧力・温度・エネルギーの単位 .....	61
3.2 熱力学の法則 .....	63
3.2.1 第ゼロ法則 .....	63
3.2.2 第一法則 .....	63
3.2.3 PV 線図 .....	65
3.2.4 理想気体 .....	66
3.2.5 第二法則 .....	68
3.3 熱機関 .....	68
3.3.1 サイクル .....	68
3.3.2 カルノーサイクル .....	69
3.3.3 熱の移動と管路 .....	70
3.4 エントロピと各種サイクル .....	75
3.4.1 エントロピー .....	75

3.4.2 エンジンサイクル .....	76
<b>『まとめと練習問題』.....</b>	<b>79</b>
<b>第4週 機械力学 .....</b>	<b>81</b>
4.1 振動の基礎 .....	82
4.1.1 調和振動 .....	82
4.1.2 運動方程式 .....	83
4.1.3 エネルギー .....	85
4.1.4 自由振動 .....	86
4.2 減衰振動と強制振動 .....	88
4.2.1 粘性減衰振動 .....	88
4.2.2 クーロン摩擦による減衰 .....	89
4.2.3 強制振動 .....	91
4.2.4 防振 .....	94
4.3 回転機械の動力学 .....	95
4.3.1 不つり合い .....	95
4.3.2 つり合わせ .....	96
4.3.3 ふれ回り .....	99
4.3.4 危険速度 .....	101
4.4 往復機械の動力学 .....	102
4.4.1 ピストン・クランク機構 .....	102
4.4.2 質量の置き換え .....	103
4.4.3 つり合わせ .....	103
<b>『まとめと練習問題』.....</b>	<b>105</b>
<b>STEP UP .....</b>	<b>106</b>
<b>練習問題の解答 .....</b>	<b>107</b>
<b>索引.....</b>	<b>109</b>

---

## ■ 第1週 ■

---

# 材料力学

---

### 【学習のポイント】

材料力学は、4力学のひとつで、機械や構造物の設計では最も重要な学問です。そのために、現場では数学的な計算と実験的なデータを組み合わせて用いることが多くなります。実際には、外力に対して各部分の材料にどの位の強度を持たせれば、材料内部の応力や変形が希望数値内に収まるのかを十分に検討しなければなりません。このようにして、機械設備の損傷や破壊を抑えて、長く使用していくことが大切です。

## 1.1 力の表し方

---

まず力の定義を知る必要があります。

物体に力を加えると、静止しているものを動かしたり、動いているものを静止させたりすることができ、さらに、物体を変形させたり、破壊させたりすることができます。

力を  $F$  とし、物体の質量を  $m$ 、加速度を  $\alpha$  とすれば、

$$F = m\alpha \quad (1.1)$$

となります。

すなわち、力は質量×加速度の積で表すことができます。この法則を運動の第2法則といったり、あるいは、ニュートンの第2法則といったりします。式(1.1)の単位は力  $F$  を [N:ニュートン]、質量  $m$  を [kg]、加速度  $\alpha$  を [m/sec<sup>2</sup>] でそれぞれ表します。

### 1.1.1 重さと質量の関係

体重 66kg の人が、天井から吊り下がっている材料（たとえばロープや針金）にぶら下がっている場合を考えてみましょう。このときのロープに加わる力の大きさはいくらでしょうか。

地球上にある物体は、地球の中心に向かう加速度（重力の加速度）を常に受けています。

この重力の加速度を  $g$ （本分冊では  $g=9.8\text{m/sec}^2$  とする）とおくと、式(1.1)より

$$F = 66 \times 9.8 \text{ [N]} \doteq 647 \text{ [N]}$$

となり、この人がぶら下がることによって、材料に 647 [N] の力を加えたことになります。この力を加えることを、荷重を加えるといったりあるいは単に負荷するといったりします。

われわれが日常において重さとか重量といっているのは式(1.1)の  $m$  で表している質量のことを指しており、材料の力学で荷重という場合は、日常においていう重さに重力の加速度をかけ合せたものになります。

### 1.1.2 力のモーメント

野球のバットを持って力くらべをやったことがある方は経験していると思いますが、バットのヘッド部とグリップ部を持ってお互いに反対側へ回転させようとすると、ヘッドのほうを持った人のほうが多くの場合強くなります。また、ボルトやナットあるいはねじを締めたり、緩めたりする場合にも経験するように、物体がある軸を中心として回転させようとするときに、加える力が一定であるならば回転中心からの距離が長いほど楽に回転できます。今、図1.1に示すように原点Oを中心として回転させようとする場合に、回転作用の大きさは、加える力Fの大きさと原点Oから力Fの作用線までの距離lとの積で表されます。これを点Oまわりの力のモーメント(moment)といいます。力のモーメントをMとすれば

$$M = Fl \quad (1.2)$$

となります。ここで距離(長さ)lをモーメントの腕といいます。また、力のモーメントは力[N]と長さ[m]の積ですから、その単位は[N・m]になり、材料の力学では[N・m], [N・mm], [kN・m]および[kN・mm]を場合によってそれぞれ用います。

力のモーメントには、右回り(時計回り)と左回り(反時計回り)があります。回転の方向によって正負の符号をつけます。通常、反時計回りを正とすることが多いので、本書でも反時計回り(左回り)を正とします。

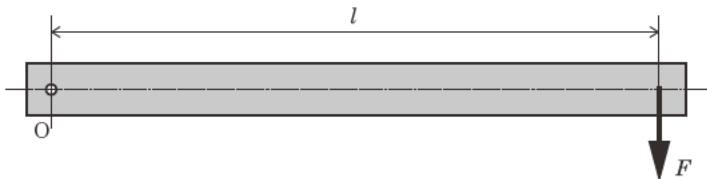


図1.1 力のモーメント

### 1.1.3 モーメントの和

物体に多数の力 $F_1, F_2, \dots, F_n$ が作用している場合には、回転中心の点Oまわりの合力のモーメントは、点Oまわりの1つ1つの力のモーメントの和となります。力の作用している方向により、符号(正、負)が変わるので注意することが重要です。合力のモーメントをMで表すと、次のようにになります。

$$\begin{aligned} M &= M_1 + M_2 + \cdots + M_n \\ &= F_1 l_1 + F_2 l_2 + \cdots + F_n l_n \end{aligned} \quad \} \quad (1.3)$$

[例題 1.1] 図 1.2 のように力  $F_1, F_2, F_3, F_4$  が作用（加わっている）している棒を考えます。

ここで、 $F_1=F_2=F_3=F_4=10$  [N] とします。点 O まわりの力のモーメントとその方向を計算しなさい。式 (1.3) より

$$M=F(l_1 - l_2 + l_3 - l_4)$$

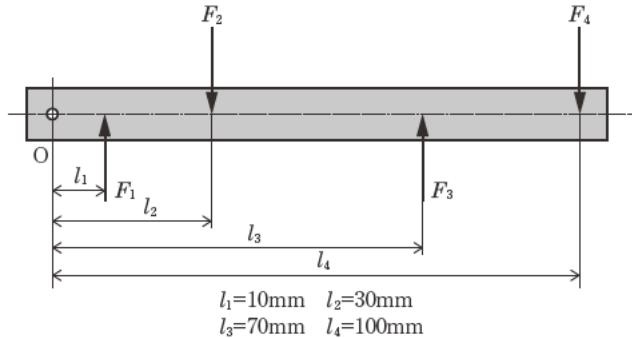


図 1.2 複数の力

ここで、 $F_1=F_2=F_3=F_4=F$  とおくと

$$M=10[\text{N}] \times (10[\text{mm}] - 30[\text{mm}] + 70[\text{mm}] - 100[\text{mm}]) = -500[\text{N} \cdot \text{mm}]$$

点 O まわりの全体の力のモーメントは  $M=500$  [N · mm] で、その作用する方向は時計回り（右回り）となります。同じ大きさの力が棒の垂直方向（長手方向に対して横方向）の上下から加わっても、力のモーメントはその腕の長さと力の積であるために差し引き 0 にはなりません。

[例題 1.2] 図 1.3 に示すように、回転中心の点 O から  $l=100\text{mm}$  の位置 A に、OA と  $30^\circ$  の方向に  $F=100$  [N] の力が作用している場合の点 O まわりの力のモーメントを求めなさい。

$$OB = 100 [\text{mm}] \times \cos 60^\circ = 50 [\text{mm}]$$

式 (1.3) より、力のモーメント  $M$  は

$$M=100 [\text{N}] \times 50 [\text{mm}]$$

$$= 5000 [\text{N} \cdot \text{mm}] = 5 [\text{kN} \cdot \text{mm}] = 5 [\text{N} \cdot \text{m}]$$

となります。回転方向は当然反時計回りです。

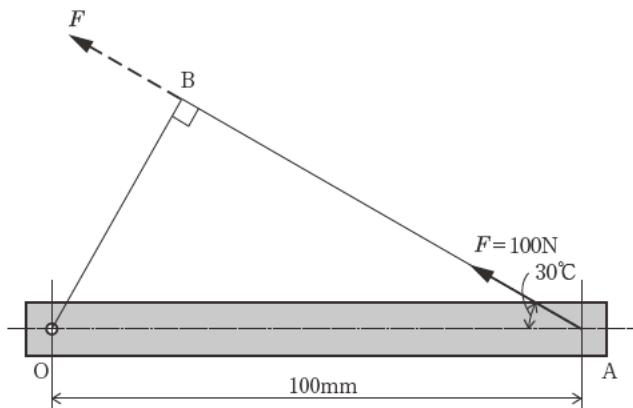


図 1.3 力のモーメント計算

#### 1.1.4 偶力

大きさが等しく、互いに平行で逆向き（作用する方向が反対の方向）になる一対の力を偶力（coupling force）といいます。この偶力によって生じる力のモーメントを偶力のモーメントといいます。ここでも回転方向によって正負の符号をつけ、力のモーメント同様に反時計回りを正とします。偶力は物体を回転させる作用をもっていますが、その合力の値は0となります。いま、図1.4において点Oまわりの偶力のモーメントをMとおけば

$$\begin{aligned} M &= -F \times l_1 + F \times l_2 \\ &= F(l_2 - l_1) \end{aligned} \quad (1.4)$$

となります。ここで、 $l_2 - l_1$ は回転直径となりますので、回転直径をdとすれば式(1.4)は

$$M = Fd \quad (1.5)$$

として表します。式(1.5)には点Oからの距離（長さ）が入っていません。このことは点Oの位置にかかわらず偶力のモーメントは一定の値Fdとなることを意味しています。偶力の作用線間の距離（回転直径）を偶力の腕といいます。

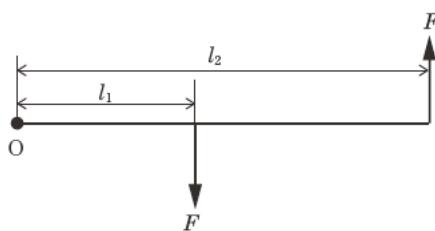


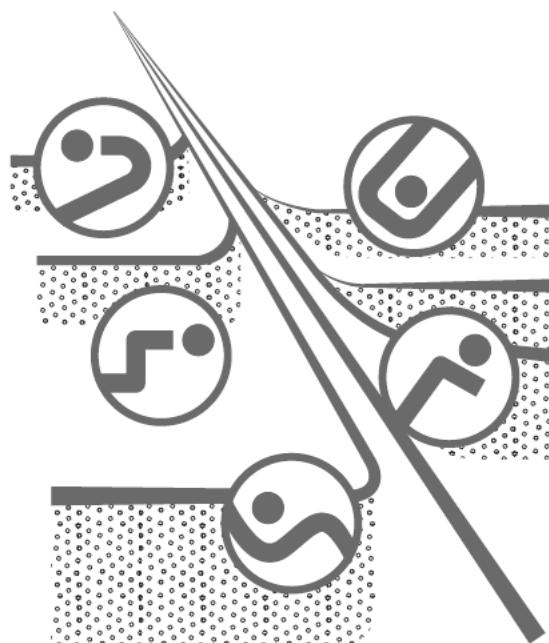
図 1.4 偶 力

実務に役立つ機械シリーズ

—設計製図・加工コース—

NO.1

## 設計製図



コガク

---

# 目 次

---

学習のねらい .....	1
<b>第1週 機械製図 .....</b>	<b>3</b>
1.1 線と図形 .....	4
1.1.1 線の種類 .....	4
1.1.2 図形の表し方 .....	7
1.1.3 投影図の示し方 .....	8
1.2 図形の表現 .....	11
1.2.1 断面図 .....	11
1.2.2 図形の省略 .....	13
1.2.3 特殊な図示方法 .....	15
1.3 寸法と公差 .....	18
1.3.1 寸法の読み方 .....	18
1.3.2 公差 .....	22
1.4 設計と規格 .....	24
1.4.1 機械設計者に求められるもの .....	24
1.4.2 JIS と ISO .....	26
1.4.3 図面の機能 .....	26
1.4.4 國際規格のいろいろ .....	28
『まとめと練習問題』 .....	30
<b>第2週 形状公差 .....</b>	<b>31</b>
2.1 寸法の記入 .....	32
2.1.1 サイズ数値の表し方 .....	32
2.1.2 寸法記入方法（1） .....	33
2.1.3 寸法記入方法（2） .....	38
2.2 はめあい方式（JIS B 0401-1：2016 参照） .....	48
2.2.1 常用はめあい .....	48
2.2.2 穴基準はめあい方式と軸基準はめあい方式 .....	54
2.3 形体の精度（JIS B 0021：1998 参照） .....	55
2.3.1 幾何公差方式 .....	55
2.3.2 幾何公差の指示での注意点 .....	58

2.3.3 幾何特性の普通公差 (JIS B 0419-1991 参照) .....	59
2.4 サイズ公差と幾何公差.....	60
『まとめと練習問題』.....	62
<b>第 3 週 加工精度と信頼性 .....</b>	<b>63</b>
3.1 加工精度.....	64
3.1.1 設計の順序 .....	64
3.1.2 精度設計 .....	65
3.1.3 加工方法とサイズ公差 .....	66
3.2 加工費用.....	68
3.2.1 表面粗さと加工時間 .....	68
3.2.2 加工方法と表面粗さ .....	68
3.3 信頼性と精度.....	70
3.3.1 はめあいの推奨値 .....	70
3.3.2 強度設計 .....	70
3.4 高信頼性設計.....	74
3.4.1 製造物責任とリスクアセスメント .....	74
3.4.2 機械システムの寿命 .....	76
『まとめと練習問題』.....	82
<b>第 4 週 電気製図 .....</b>	<b>83</b>
4.1 電気の基礎 .....	84
4.1.1 直流と交流 .....	84
4.1.2 オームの法則 .....	88
4.1.3 コンデンサの役割 .....	94
4.2 スイッチとリレー .....	99
4.2.1 スイッチ .....	99
4.2.2 リレー .....	101
4.3 ダイオードとトランジスタ .....	103
4.3.1 ダイオード .....	103
4.3.2 トランジスタ .....	106
4.4 回路図の読み方 .....	109
4.4.1 電子回路図の読み方 .....	109
4.4.2 電気回路図の読み方 .....	115
『まとめと練習問題』.....	129
<b>STEP UP .....</b>	<b>130</b>
<b>練習問題の解答 .....</b>	<b>131</b>
<b>索引 .....</b>	<b>133</b>

---

## ■ 第1週 ■

---

# 機械製図

---

### 【学習のポイント】

図面を読むに際して、最初にその対象物の形とサイズ割合を読み取ることです。その後で大きさ、精度、面の状態、その他 の事項を読み取っていくとよいでしょう。

このようにして、対象物全体を正しく理解し、設計者の意向を汲み取ることができるようになります。本来の対象物は立体（三次元）であり、それを二次元の図形で示していることがポイントになります。そのためにいくつもの簡略表現が用いられています。

まず、最初は線と図形について学習します。

## 1.1 線と図形

---

### 1.1.1 線の種類

機械製図に用いる線の形は、図1.1に示すものの他に点線、ミシン目線などがあります。

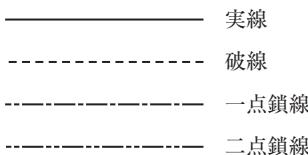


図1.1 代表的な線の種類

さらに、これらの線幅を、極太線（幅約1.2mm）、太線（幅約0.6mm）細線（幅約0.3mm）の3種類の大きさに描き分けて、線の種類を区別します。なお、各線の用途については次にまとめて示します。

- (1) 線の太さの基準は、0.18, 0.25, 0.35, 0.5, 0.7, 1, 1.4, 2.0mmです。
- (2) 線の用途は、表1.1に示します。線の太さの基準は、普通は細線と太線を用い、特殊な用途にのみ極太線を用います。細線、太線、極太線の太さの比率は1:2:4とします。

さまざまな線の使い方を、図1.2に示します。

例1に使われている線には番号をつけてありますので、表1.1と見比べながら確認してください。

例2は容器内部の液面を示したものです。

例3ではタンクの薄肉部分を極太線で示しています。

例4は繰り返しのピッチ基準を表しています。

例5では想像線の役割を示しています。右側に別の部品がくっ付くことを表します。

例6ではキー溝カッターで加工する様子を想像するように描いています。

例7の(a)は折り曲げる前の状態を想像させるものです。

(b)はリベットを叩いて加工した後の形を想像させようとしています。

(c)は加工後にネジ底を平面にすることを示しています。

表 1.1 線の種類による用法 (JIS B 0001 : 2010 抜すい)

用途による名称	線 の 種 類	線 の 用 途	図1.2の 照合番号
外形線	太い実線	対象物の見える部分の形状を表すのに用いる。	1.1
寸法線		寸法を記入するのに用いる。	2.1
寸法補助線		寸法を記入するために図形から引き出すのに用いる。	2.2
引出線	細い実線	記述・記号などを示すために引き出すのに用いる。	2.3
回転断面線		図形内にその部分の切り口を90度回転して表すのに用いる。	2.4
中心線		図形の中心線(4.1)を簡略に表すのに用いる。	2.5
水準面線 <sup>(1)</sup>		水面、油面などの位置を表すのに用いる。	2.6
かくれ線	細い破線 または太い破線	対象物の見えない部分の形状を表すのに用いる。	3.1
中心線	細い一点鎮線	(1) 図形の中心を表すのに用いる。 (2) 中心が移動した中心軌跡を表すのに用いる。	4.1 4.2
基準線		特に位置決定のよりどころであることを明示するのに用いる。	4.3
ピッチ線		繰返し図形のピッチをとる基準を表すのに用いる。	4.4
特殊指定線	太い一点鎮線	特殊な加工を施す部分など特別な要求事項を適用すべき範囲を表すのに用いる。	5.1
想像線 <sup>(2)</sup>	細い二点鎮線	(1) 隣接部分を参考に表すのに用いる。 (2) 工具、ジグなどの位置を参考に示すのに用いる。 (3) 可動部分を、移動中の特定の位置または移動の限界の位置で表すのに用いる。 (4) 加工前または加工後の形状を表すのに用いる。 (5) 図示された断面の手前にある部分を表すのに用いる。	6.1 6.2 6.3 6.4 6.5
重心線		断面の重心を連ねた線を表すのに用いる。	6.7
破断線	不規則な波形 細い実線 またはジグザグ線	対象物の一部を破った境界、または一部を取り去った境界を表すのに用いる。	7.1
切断線	細い一点鎮線で、 端部および方向の 変わるもの <sup>(3)</sup>	断面図を描く場合、その切断位置を対応する図に表すのに用いる。	8.1
ハッチング	細い実線で、規則的に並べたもの	図形の限定された特定の部分を他の部分と区別するのに用いる。たとえば、断面図の切り口を示す。	9.1
特殊用途の線	細い実線	(1) 外形線およびかくれ線の延長を表すのに用いる。 (2) 平面であることを示すのに用いる。 (3) 位置を明示するのに用いる。	10.1 10.2 10.3
	極太の実線	薄肉部の単線図示を明示するのに用いる。	11.1

注 (1) JIS Z 8316には、規定していない。

(2) 想像線は、投影法上では图形に現れないが、便宜上必要な形状を示すのに用いる。

また、機能上・工作上の理解を助けるために、图形を補助的に示すためにも用いる。

(3) 他の用途と混用のおそれがないときは、端部および方向の変わるもの太くする必要はない。

備考 細線、太線および極太線の太さの比率は、1:2:4とする。

例 8 では、左側が断面図ですが、あえて出っ張り部分があることを示すために 6.5 の想像線が描かれています。

例 9 では外形線の延長を示しています。

例 10 は平面であることや位置を示しています。

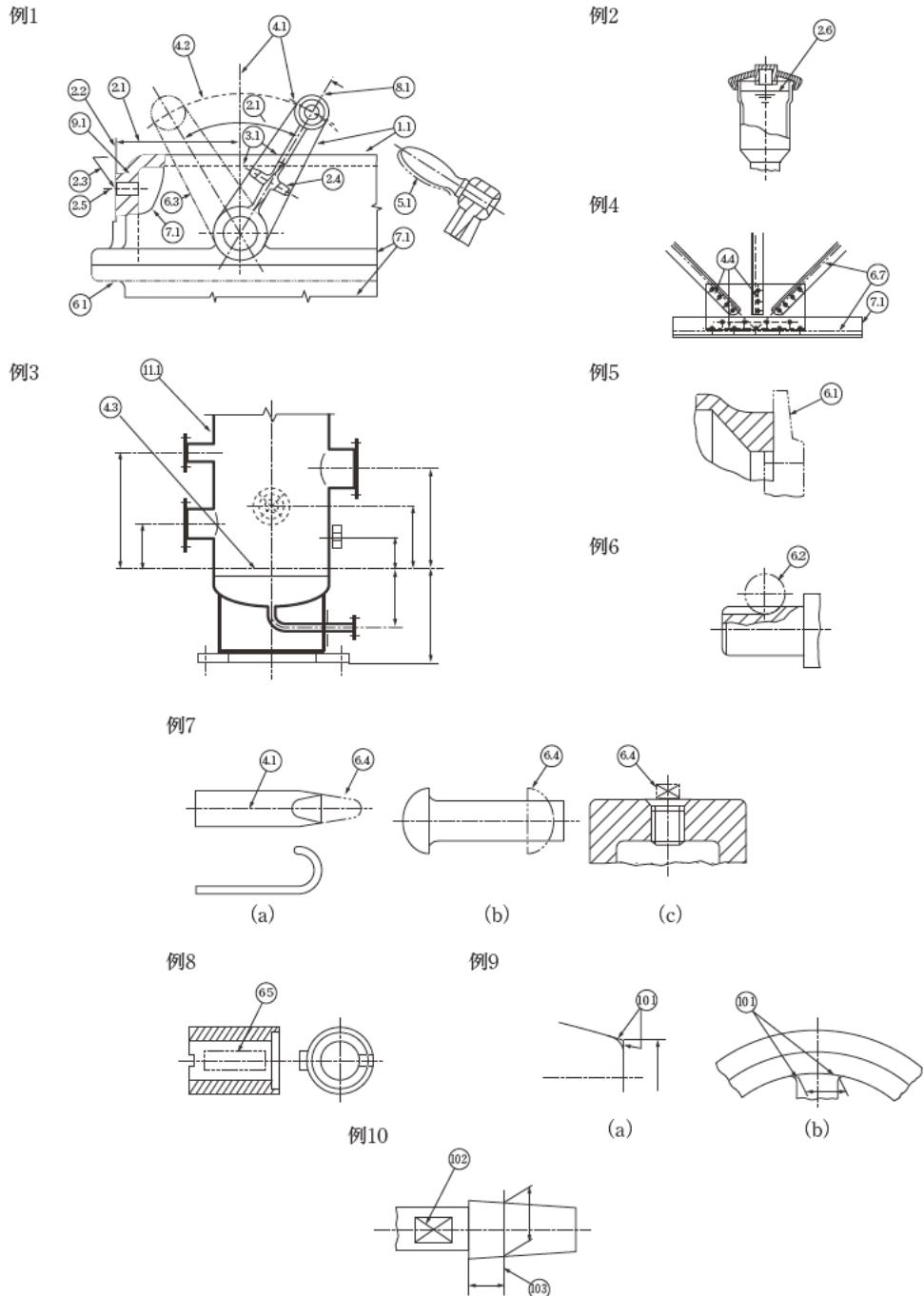


図 1.2 線の用法の図例

(3) 2種類以上の線が重なる場合の優先順位は、まず外形線を優先し、つづいてかくられ線、切断線、中心線、重心線、寸法補助線の順とします。図1.3に例を示します。

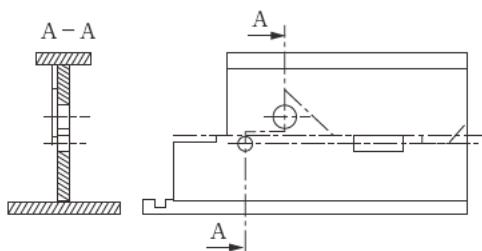


図1.3 線の重なり

図1.3の左の断面図では中心線よりも外形線を優先して描いていることがわかります。また、右の図でもAAの切断線を中心線よりも優先しています。

### 1.1.2 図形の表し方

図形を表すには、その対象物の形状や機能をもっとも明らかに表す面から見た形式をとります。また、それを補足する投影図（断面図を含む）を描き加えて、対象物を適確に表現します。

図面はできるだけ少ない投影図で構成することが大切です。これは読み手に負担を掛けないためです。

人、馬、亀などでは、正面から見た図形というと図1.4のように描きます。また、自動車や船では、図1.5のように描きます。

しかし、対象物を明瞭に表すには、図1.6や図1.7のように示した方がよくわかります。この方がその物の形状や機能がよりわかりやすくなります。

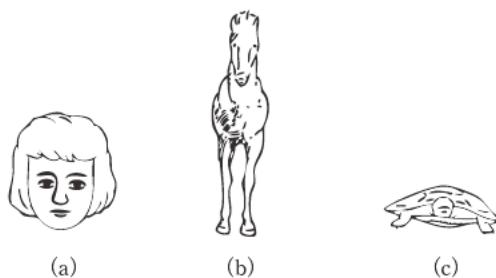


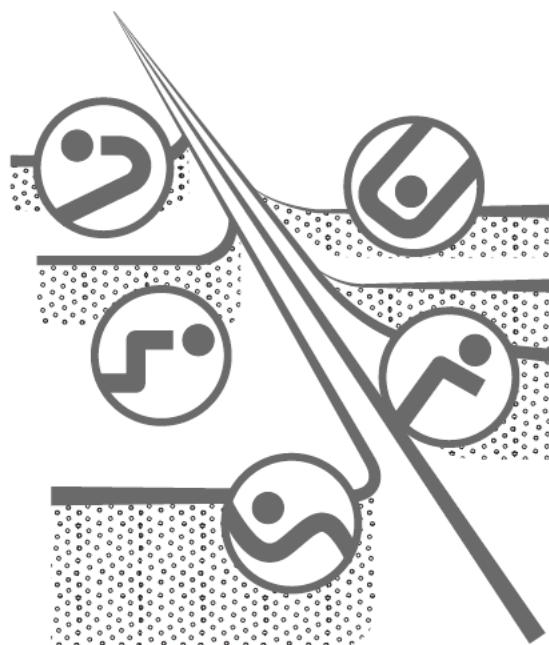
図1.4 人、馬、亀の正面の図形

実務に役立つ機械シリーズ

－機械要素・計測技術コース－

NO.1

# 機械要素



コガク

---

# 目 次

---

学習のねらい .....	1
<b>第1週 締結 .....</b>	<b>3</b>
1.1 ねじ .....	4
1.1.1 ねじの機能 .....	4
1.1.2 ねじの名称と用語 .....	5
1.1.3 ねじの力学 .....	6
1.1.4 ねじの種類 .....	7
1.1.5 ボルト・ナットの代表的な使用法 .....	9
1.1.6 ねじのゆるみと対策 .....	10
1.1.7 ねじのトラブル事例 .....	12
1.2 溶接 .....	14
1.2.1 溶接の原理 .....	14
1.2.2 アーク溶接 .....	14
1.2.3 溶接継手と溶接箇所 .....	16
1.2.4 溶接欠陥と検査 .....	17
1.2.5 溶接のトラブル事例 .....	19
1.3 リベット .....	22
1.3.1 リベットの方法 .....	22
1.3.2 熱間リベットと冷間リベット .....	23
1.3.3 トラブルの兆候 .....	24
1.3.4 リベットのトラブル事例 .....	24
1.4 組み付け .....	26
1.4.1 締結 .....	26
1.4.2 アライメント .....	27
1.4.3 メカニズムの精度 .....	28
1.4.4 ずれの測定方法 .....	29
『まとめと練習問題』 .....	32
<b>第2週 伝達と変換 .....</b>	<b>33</b>
2.1 齒車・ベルト .....	34
2.1.1 齒車の種類 .....	35
2.1.2 齒車の伝動 .....	35
2.1.3 モジュール .....	39
2.1.4 齒車の用語 .....	40
2.1.5 齒車の材質 .....	41
2.1.6 齒面の損傷と診断・検査 .....	41
2.1.7 齒車のトラブル事例 .....	42
2.1.8 ベルト .....	45
2.2 カム .....	49
2.2.1 カムの種類 .....	49
2.2.2 カムの運動 .....	53
2.3 リンク .....	57

2.3.1 リンクの基本 .....	57
2.3.2 リンクの応用 .....	60
2.4 軸と軸受 .....	63
2.4.1 軸 .....	63
2.4.2 軸継手 .....	64
2.4.3 軸への締結 .....	65
2.4.4 軸受の種類 .....	68
2.4.5 すべり軸受 .....	70
2.4.6 転がり軸受 .....	72
2.4.7 軸のトラブル事例 .....	80
『まとめと練習問題』.....	84
 第 3 週 密封装置（シール）.....	85
3.1 O リング .....	86
3.1.1 密封装置の種類 .....	86
3.1.2 O リング .....	87
3.1.3 O リングの取り扱い .....	88
3.2 ガスケット .....	90
3.2.1 メタルガスケット .....	90
3.2.2 非金属ガスケット .....	90
3.2.3 その他のガスケット .....	91
3.3 メカニカルシール .....	92
3.3.1 メカニカルシールの構造 .....	92
3.3.2 密封端面 .....	92
3.4 その他の密封装置 .....	93
3.4.1 グランドパッキン .....	93
3.4.2 オイルシール .....	94
『まとめと練習問題』.....	95
 第 4 週 トライボロジー .....	97
4.1 潤滑の種類 .....	98
4.1.1 潤滑の必要性 .....	98
4.1.2 摩擦の原理と潤滑理論 .....	98
4.1.3 潤滑剤の種類 .....	102
4.2 グリース .....	104
4.2.1 グリースの種類 .....	104
4.2.2 グリースの特徴 .....	106
4.2.3 グリースと潤滑油の比較 .....	107
4.2.4 グリースの選定 .....	107
4.3 潤滑油 .....	108
4.3.1 流体潤滑と境界潤滑 .....	109
4.3.2 軸受油の選択 .....	109
4.3.3 歯車と潤滑 .....	112
4.4 潤滑油の使用 .....	116
4.4.1 潤滑の方法 .....	116
4.4.2 給油 .....	117
4.4.3 油の劣化 .....	117
『まとめと練習問題』.....	119
 STEP UP .....	120
練習問題の解答 .....	121
索引 .....	123

---

## ■ 第1週 ■

---

# 締 結

---

### 【学習のポイント】

機械要素にもさまざまなものがあります。ここでは、部品や材料を固定する要素を最初に取り上げています。ねじ、溶接、リベットなどです。次週で、部品同士に回転運動などがあるときの接続要素として、歯車や軸を取り上げています。さらに、それらの軸を支える軸受について取り上げています。

それぞれの要素に対して、実際に起きたトラブル事例を学ぶことから、よりよい設計方法のポイントを身に付けることができます。

ねじ、溶接、リベットは、機械・構造物の組立に用いられています。ねじは、ボルト・ナットなどのねじ緜手として重要な一時締結要素です。また、おねじとめねじの相互通転によって小さな回転モーメントで大きな軸方向力を得る推力ねじとしても使われています。

溶接とリベットは、永久締結要素です。溶接は、リベットに比べて緜手効率（つないだ板と1枚の板との強度比）が大きいので、重量の軽減ができます。溶接棒、工法、検査法などの進歩によって、応用範囲が広くなりました。リベットは、構造が簡単で、溶接に比べて熱の影響が少なく、信頼性が高いので、圧力容器、鉄鋼構造物、船舶、航空機など多方面で使われています。

## 1.1 ねじ

### 1.1.1 ねじの機能

締結要素のうちで、1自由度の運動をするのがねじです。1自由度の運動メカニズムを図1.1に示します。(a)は、一定方向にだけ直線的に動くものです。(b)は、固定した回転中心の回りを回転するものです。(c)は、直進運動と回転運動を合成したらせん運動(つる巻き運動)です。

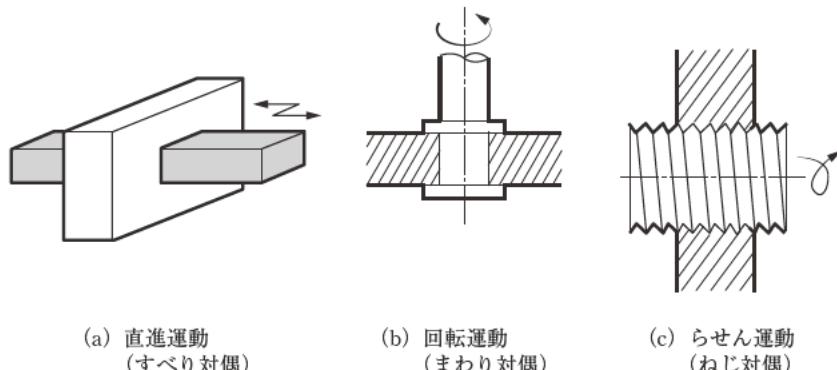


図1.1 自由度1の運動メカニズム

ねじは、(c)に示したように、必ずおねじとめねじが1対になって対偶(ねじ対偶)を作り、自由度1の運動(らせん運動)をします。また、ねじの機能と用途は次のように分類できます。

①運動伝達・変換(回転運動を直進運動に変換する機能)

①変位拡大:(例)マイクロメータ

②力拡大:(例)プレス、ジャッキ

③変位・力拡大:(例)工作機械の送りねじ

②締結:(例)ボルト・ナットによる部品の結合

ねじの回転→直進運動は力の伝達・変換の立場で見ると、力の増倍機能を有していますが、これを利用した用途が①の②のジャッキ用ねじと締結用ねじです。

### 1.1.2 ねじの名称と用語

図1.2と図1.3で、ねじの基本的事項を説明します。

①リード  $L$

ねじのつる巻線に沿って軸のまわりを1周するとき、軸方向に進む距離です。

②ピッチ  $P$

互いに隣り合うねじ山の相対応する2点を軸線方向に測った距離です。

③一条ねじ、多条ねじ

リードとピッチが等しいものを一条ねじといい、 $n$ 条ねじは  $L=nP$  です。

④有効径  $d_p$

ねじ溝の幅がねじ山の幅に等しくなるような仮想的円筒の直径です。

⑤フランク角  $\alpha$  :

ねじ山の軸断面形において、ねじ面との交線をフランクといい、フランクと軸線に直角な直線となす角です。

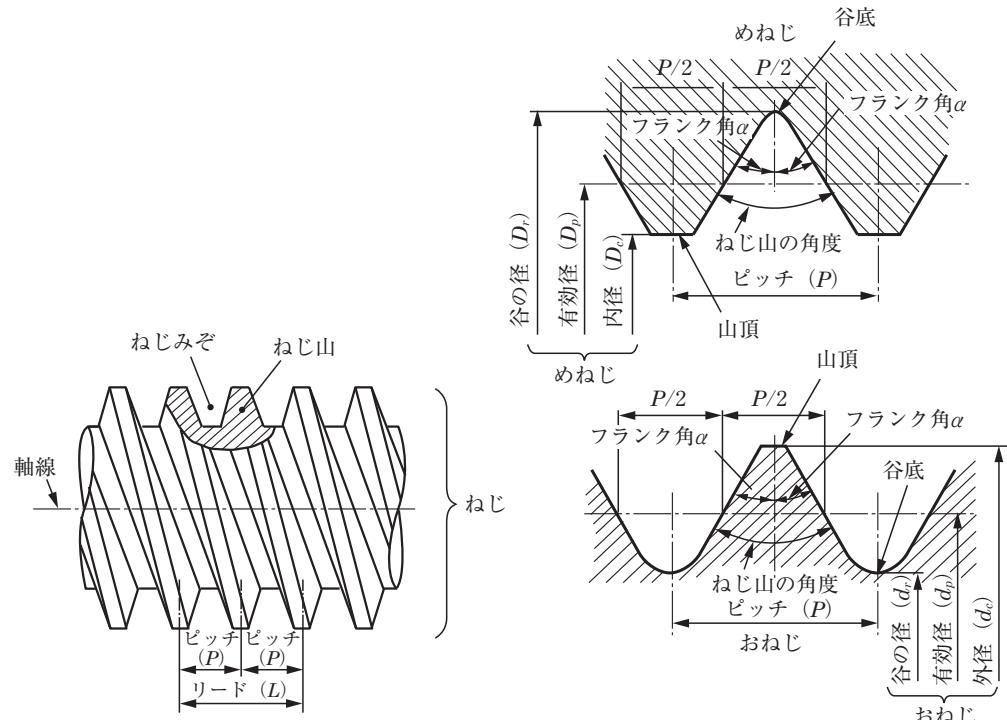


図1.2 ねじの各部名称 (2条ねじ)

図1.3 ねじ山部分の各部名称

### 1.1.3 ねじの力学

図1.4のように、直径 $d_p$ の円柱に傾斜角 $\beta$ （リード角）の斜面を巻き付けると、斜面は円柱面上につる巻線（らせん）を描きます。このつる巻線に沿ってねじ山をつけたものがねじです。つる巻線が円柱を1回転したときに軸方向に進む距離をリードといい、リード $L$ とリード角 $\beta$ には次の関係があります。

$$L = \pi d_p \tan \beta$$

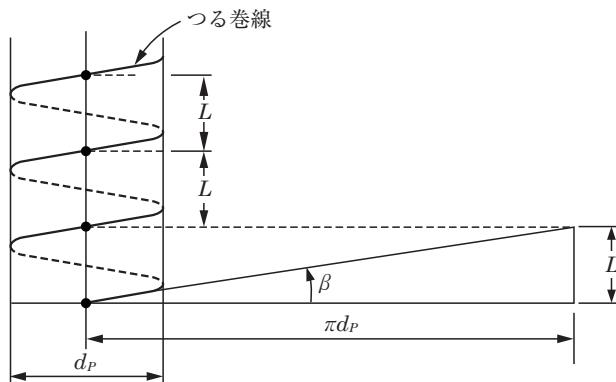


図1.4 ねじの原理

図からわかるように、ねじは「斜面の力学」の応用です。いま、図1.5のようにボルトとナットで部品I、IIが結合されている場合を考えます。ただし、ねじの断面は四角形とします。さらにナットで部品を締め上げる場合、斜面のモデルは図1.6のように表せます。ここで、 $F$ はねじの軸方向に作用している力、 $\mu$ はナットとボルトのねじ面の摩擦係数、ナットの有効径の所に与える力を $P$ とし、ナットと座面の摩擦は無視します。このとき、力のつり合いの式は次のように書けます。

$$P - N \sin \beta - \mu N \cos \beta = 0$$

$$F + \mu N \sin \beta - N \cos \beta = 0$$

2つの式より $P$ を求める

$$P = F(\tan \beta + \mu) / (1 - \mu \tan \beta)$$

ここで、摩擦角 $\rho$ を用いて $\mu = \tan \rho$ とおくと、

$$P = F(\tan \beta + \tan \rho) / (1 - \tan \rho \tan \beta)$$

$$= F \tan(\beta + \rho)$$

となり、締付けトルク $T$ は

$$T = P(d_p/2) = F(d_p/2) \tan(\rho + \beta)$$

となります。逆にナットをゆるめるのに必要なトルク  $T'$  は、同様にして、

$$T' = P(d_p/2) = F(d_p/2)\tan(\rho - \beta)$$

となります。

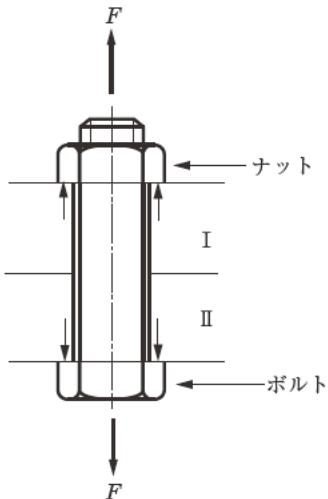


図 1.5 ボルト・ナットによる締結

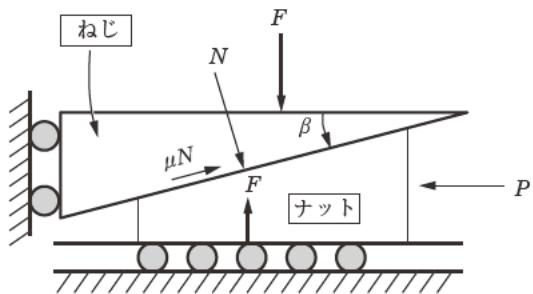


図 1.6 ナットによる締付けの斜面モデル

#### 1.1.4 ねじの種類

ねじ山の断面形状により、次の 5 種類に大別されます。図 1.7 に代表的なものを示します。

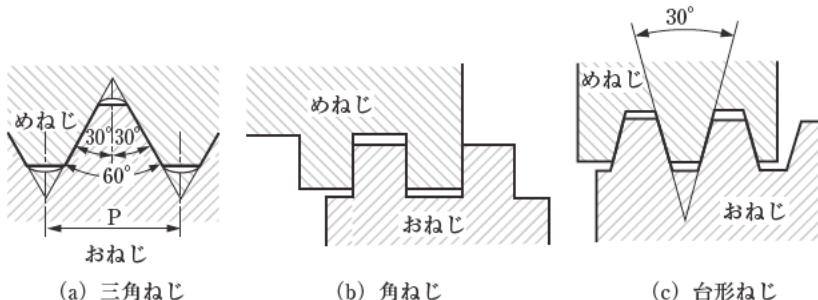


図 1.7 ねじ山の形状

##### ① 三角ねじ

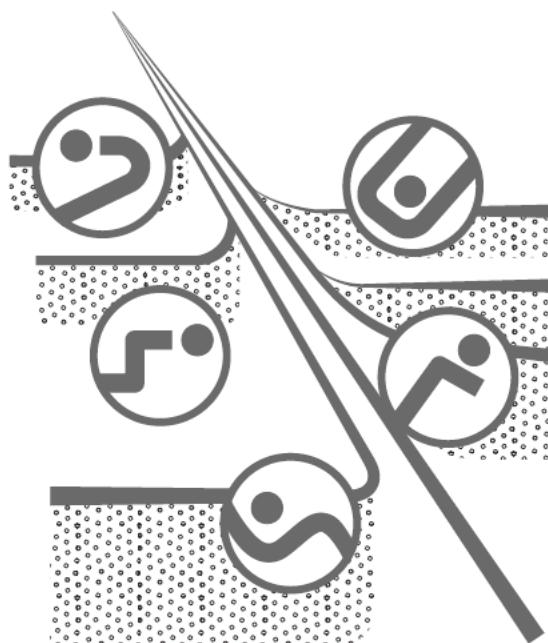
最も一般的なねじで締結用に多く使われています。ねじ山の形は正三角形に近くなっています。三角ねじには、メートルねじ、ユニファイねじ、管用ねじの 3 種類がありますが、一般によく使われるものはメートル並目ねじとメートル細目ねじです。

実務に役立つ機械シリーズ

—モータと電力・制御技術コース—

NO.1

# モータと電力



コガク

---

# 目 次

---

学習のねらい .....	1
<b>第1週 モータと電力 .....</b>	<b>3</b>
1.1 DCモータ .....	4
1.1.1 モータとは .....	4
1.1.2 DCモータ .....	7
1.2 ACモータ .....	11
1.2.1 誘導電動機の原理 .....	11
1.2.2 単相誘導電動機 .....	14
1.3 ステッピングモータ .....	16
1.3.1 ステッピングモータの種類 .....	16
1.3.2 ステッピングモータの制御 .....	18
1.3.3 励磁方法 .....	20
1.3.4 自起動周波数 .....	21
1.4 モータと電力 .....	23
1.4.1 電力について .....	23
1.4.2 電力量について .....	24
1.4.3 正弦波について .....	24
1.4.4 ベクトル表示について .....	26
1.4.5 交流の電力 .....	29
『まとめと練習問題』 .....	32
<b>第2週 モータの駆動技術 .....</b>	<b>33</b>
2.1 インダクションモータの駆動 .....	34
2.1.1 インダクションモータの種類と特徴 .....	34
2.1.2 インダクションモータの特性 .....	34
2.1.3 始動方法と制動方法 .....	37
2.2 三相モータの駆動方法 .....	40
2.2.1 三相モータの主回路 .....	40
2.2.2 モータの正・逆転 .....	44
2.2.3 スターデルタ始動回路 .....	45
2.3 モータの制動・各種モータ .....	47
2.3.1 モータの制動 .....	47
2.3.2 各種モータ .....	49
2.4 DCモータ・ステッピングモータの制御 .....	53
2.4.1 DCモータ制御の種類 .....	53
2.4.2 DCモータの始動と制動 .....	53
2.4.3 DCモータの各種制御 .....	56
2.4.4 DCモータの各種駆動回路 .....	58
2.4.5 ステッピングモータの制御 .....	63
『まとめと練習問題』 .....	69

<b>第3週 負荷・トルク計算</b>	<b>71</b>
3.1 慣性モーメントの計算	72
3.1.1 モータ選定の手順	72
3.1.2 慣性モーメント	74
3.2 トルクの計算(1)	78
3.2.1 モータにかかるトルクの計算	78
3.2.2 モータの仮選定	82
3.3 トルクの計算(2)	83
3.3.1 加速トルクの計算	83
3.3.2 実効トルクの計算	84
3.3.3 特性チェック	85
3.3.4 モータの制御	86
3.4 モータ選定の考え方	87
3.4.1 モータ制御システム	87
3.4.2 サーボモータへの要求	90
3.4.3 サーボモータの選び方	92
『まとめと練習問題』	100
<b>第4週 インバータ制御・サーボ制御</b>	<b>103</b>
4.1 インバータ制御	104
4.1.1 汎用インバータ	104
4.1.2 汎用インバータの原理	105
4.2 インバータ制御回路技術	107
4.2.1 基本回路	107
4.2.2 制御特性	109
4.2.3 使用上の注意	111
4.3 インバータの応用	115
4.3.1 瞬時電圧降下(瞬停)時の運転	115
4.3.2 簡易位置決め装置	117
4.3.3 ベクトル制御によるインダクションモータのサーボ制御	118
4.4 サーボシステム	119
4.4.1 サーボコントローラの選定	119
4.4.2 サーボコントローラの仕組み	120
4.4.3 入出力信号とサーボアンプ	122
4.4.4 サーボモータの選定	128
『まとめと練習問題』	133
<b>STEP UP</b>	<b>134</b>
練習問題の解答	135
索引	137

---

## ■ 第1週 ■

---

# モータと電力

---

### 【学習のポイント】

英語で motor というと、いろいろな意味があります。

たとえば、動かす人や物、自動車、運動筋肉（神経）、それとモータなど。

したがって、日本語で使われる電動機といった意味以外にも数々の場面で使われることになります。いわゆる物理的な力を引き起こす元になるもの、と考えればよいでしょう。

昔々の機械式時計がデジタルに置き換わってから久しいですが、実際の物を動かすロボットになってきますと、従来のモータの働きにとって代わるものはまだ現れていません。確かに、超音波モータやバイオモータなどは考案されましたか、全面的に主役を占めることはまずないでしょう。

モータ以外のアクチュエータ (actuator: 駆動するもの) としては、油空圧シリンダや電磁ソレノイドなどがあげられます。

この週では、各種モータの原理と使い方を中心に学習します。

子供のころに、小学校の理科の時間でエナメル線を巻いてモータを作った経験のある人や、ラジコンやミニ四駆をニッカド電池で走らせたことのある人は、どうかひとつそのころを想い出しながら、新鮮な気持でページを読み進めてください。

## 1.1 DC モータ

---

### 1.1.1 モータとは

すでに述べたように英語で motor というと、いろいろな意味があります。

たとえば、何かを動かす人、何かを動かす装置、自動車、運動筋肉や運動神経、それと電気のモータなどです。どれもが最終的には物理的な力を引き起こす仕組みのことと指しています。

本書で取り扱うのは、もちろん電気のモータのことです。外部からコイルに電流を流すと、回転力や直進力が簡単に得られるのがモータです。

実際に、モータはさまざまなどころに使われています。

携帯電話のマナーモードを知らせるメカニズム、オーディオ機器、洗濯機のような家電製品の中に。

自動車のウィンドウの開閉、電動車椅子の駆動に。

ロボットの関節軸の駆動、コンベアの移送、機械主軸の駆動に。

サイズの小さなものから大きなものまで。

パワーの少ないものから大きいものまで。

エンジニアとしては、そのあたりの使い分けを知る必要があります。

電動モータの動く原理は基本的に同じです。

図 1.1 に示すように、N と S の磁極が作る磁界中に置かれた電線に電流を流すと、直角方向に電線を動かす力が発生します。これが有名なフレミングの左手の法則と呼ばれるものです。この Fleming's left hand rule は、この講座のテキスト中に何度か出てきます。

磁界の方向と電流の方向が決まると、電磁力の発生方向が決められます。それを覚えやすくしたものが図 1.2 になります。

電気的エネルギーを機械的エネルギーに変換するのが、この法則によって示されます。なお、合せてフレミングの右手の法則についても、図 1.3 と図 1.4 に示します。

これは左手の法則を逆にしたもので、磁界中で電線を動かすと、電線に起電力が発生して電流が流れます。機械的エネルギーを電気的エネルギーに変換するわけで、これが発電機の原理となっています。

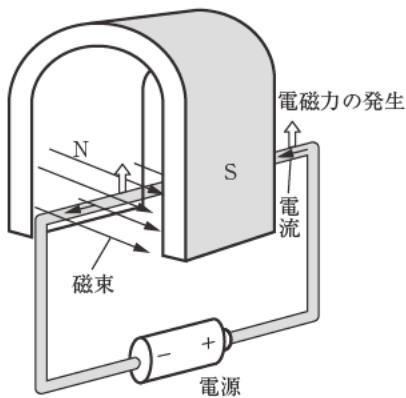


図1.1 電磁力の発生

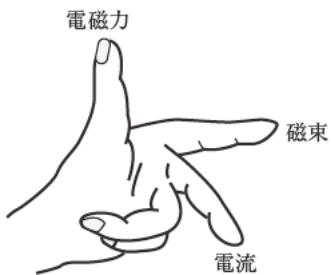


図1.2 フレミングの左手の法則

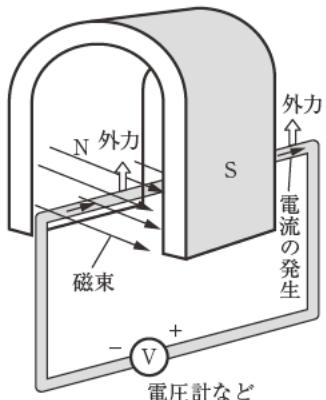


図1.3 起電力の発生



図1.4 フレミングの右手の法則

以上の左手と右手の法則はよく混同されがちです。左手が力の発生で、右手が電流の発生です。注意しましょう。

見方を変えていうならば、モータ（電動機）と発電機は同一原理の表裏で働いていることになります。

たとえば、図1.5 (a) のように、模型店で買ってきたモータに電池をつなげばモータは回転します。

さらに、図1.5 (b) のように、今度は電池をつながないでモータ軸を手で回してやるとモータから直流電圧が発生します。これをテスタなどで確かめることができます。

豆電球を点灯させることも可能です。自転車についている発電機も同じ仕組みです。このような直流モータの基本原理が、さまざまなモータを生み出していくことにな

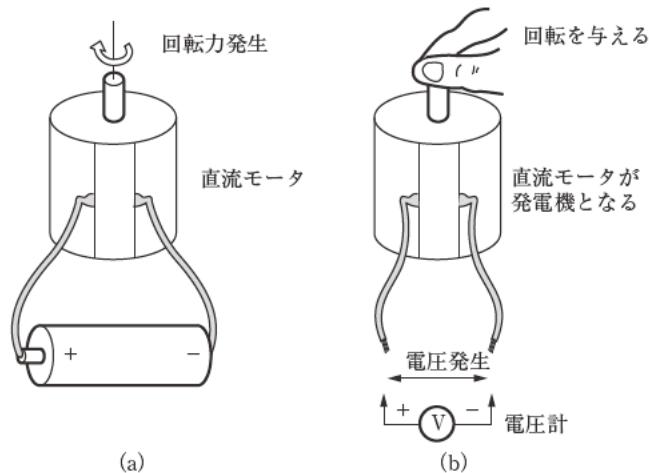


図1.5 モータと発電機

ります。

外側の磁界そのものを回転させる方式の誘導モータや、直線状に移動するリニアモータなどへ変化します。

また、DCモータに加える電圧を高くすると、それに比例して回転速度が上昇します。加える電圧の向きを逆にすると、回転方向も逆になります。発電する電圧も同様に、回転速度を上げると出力電圧が上昇し、回転方向を逆にすると出力電圧のプラスマイナスも逆になります。

では、これらのモータにはどのような種類があるのかをまとめて図1.6に示します。

この分類方法にしても、電源、構造、トルクの大小、用途などによって異なってきます。ここでは大きく電源で分けて、さらに構造や回転原理で分けています。

モータを使う側からすれば、要求仕様を満たすものであれば何でもよいわけで、その構造および回転原理は知らなくてもよさそうですが、ある程度の原理を知っておかないと、機械設計や故障対策で困ります。

なお、DCはDirect Currentで、直流を示します。ACはAlternating Currentで、交流を示します。

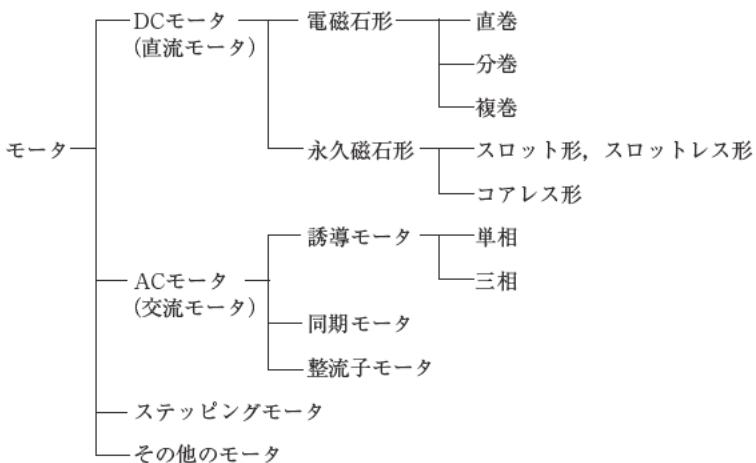


図 1.6 モータの種類

### 1.1.2 DC モータ

DC 直流モータの基本原理を図 1.7 で説明します。

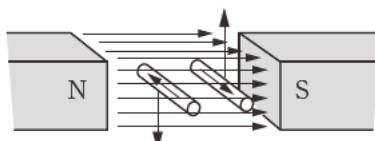


図 1.7 磁界中の 2 本の導線に発生する電磁力

前述のフレミングの左手の法則を思い返してもらうとよいでしょう。一様な磁界中に 2 本の導線を入れて、左の導線にはむこう向きに、右の導線にはこちら向きに電流を流すとします。その結果、左の導線は下向きに、右の導線は上向きに電磁力が発生します。

このことを利用して回転力が得られるように、図 1.8 に示すように 2 本の導線をループ状に接続して、整流子およびブラシを介した電源を加えます。

整流子は回転しながら、固定したブラシと接触しています。これでコイルに流れる電流方向を  $180^\circ$  ごとに逆転させて、常に同一方向へ回転力が得られるようにしています。

図 1.9 で説明しますと、コイルのうちで左側の N 極に近い導線部分では常にむこう向きに電流が流れ、右側の S 極に近い導線部分では常にこちら向きに流れることになります。