

ま え が き

機械工業の近年の発展は著しく、機械の自動化、複雑化、精密化が行われるとともに、軽量化、高速化によって、省資源、省エネルギーを含む経済性の問題に対処しようという方向に進んでいる。このような傾向は機械構造や部品の振動を招きやすいので、機械を設計する際には、運動解析の精密さとともに、振動の予測、制御、防止を含む機械力学の知識を活用しなければならない。

ところで大学における機械力学の目標は

- (1) 機械を題材として動力学の基本原則や諸法則を理解すること、
- (2) 機械の運転時に現れるおもな力学現象とその解析法を学び、これを通して現実の問題に対する応用力を身につけること、

の二点に要約できよう。これより教育内容としては

- (i) 機械の種類を超えて共通する動力学問題の横断的な体系——力学の中の特に動力学といわれる部分（運動学、機構学、振動学を含む）、
- (ii) 機械の種類ごとに特有な動力学問題の縦断的な体系——回転機械の力学、往復機械の力学、

の両者がともに必要となる。本書ではこの点を考慮して、いずれの一方にも偏らず、両者を対等に置いて互いに他と有機的に結びつけようとした点に特徴がある。特に最近の工業界のレベルとすう勢にこたえて、振動・安定問題と回転機械の力学を重視した。執筆に当たっては **1, 5, 6, 7** 章を三輪が、そして **2, 3, 4** 章を坂田が担当した。

本書を教科書として用いる場合、講義時間数に比べて内容過多とみられるときは、講義内容を上記 (i) (ii) のいずれかに限定して前半 (**1~4** または **5** 章まで) もしくは後半 (**1** 章と **5** 章以下) のみとし、残りは参考書的に扱うことも可能である。いずれにせよ、学習者に (i) と (ii) の相補的な関係を認

識させることが大切である。

本書の成立に関しては、6章の少なからぬ部分は Gasch および Pfützner の著作に負っており、これを感謝する。また出版に際してはコロナ社の方々にお世話になった、あわせて厚くお礼申し上げる。

1984年3月

著 者

目 次

1 総 論

| | |
|--------------------|---|
| 1.1 機械と機械力学 | 1 |
| 1.2 機械における力と運動との関係 | 2 |
| 1.3 機械力学の主要問題 | 5 |
| 1.4 工学問題と機械力学 | 7 |
| 演習問題 | 9 |

2 機械力学の基礎 I (質点の力学)

| | |
|----------------------|----|
| 2.1 質点の運動と座標系 | 10 |
| 2.1.1 運動の法則 | 10 |
| 2.1.2 物理量—スカラーとベクトル | 10 |
| 2.1.3 座標系とベクトル | 11 |
| 2.1.4 内積と外積 | 12 |
| 2.1.5 回転, 角速度, 速度 | 13 |
| 2.1.6 座標系の変換とベクトルの成分 | 15 |
| 2.2 質点の運動 | 17 |
| 2.2.1 質点の軌道とその幾何学的性質 | 17 |
| 2.2.2 速度と加速度 | 19 |
| 2.2.3 回転座標系と相対運動 | 22 |
| 2.3 質点の力学 | 25 |
| 2.3.1 力と運動量 | 25 |
| 2.3.2 仕事とエネルギー | 26 |
| 2.3.3 角運動量 | 28 |

| | |
|------|----|
| 演習問題 | 28 |
|------|----|

3

機械力学の基礎Ⅱ(質点系と剛体の力学)

| | |
|-------------------------|----|
| 3.1 質点系の力学 | 30 |
| 3.1.1 運動量と重心 | 30 |
| 3.1.2 角運動量 | 31 |
| 3.2 剛体の力学 | 32 |
| 3.2.1 剛体の運動 | 32 |
| 3.2.2 剛体の力学 | 36 |
| 3.3 仮想仕事とダランベールの原理 | 58 |
| 3.3.1 質点の釣合いに関する仮想仕事の原理 | 58 |
| 3.3.2 拘束された質点の釣合い条件 | 59 |
| 3.3.3 ダランベールの原理 | 60 |
| 3.4 ハミルトンの原理とラグランジュ方程式 | 62 |
| 3.4.1 ハミルトンの原理 | 62 |
| 3.4.2 拘束された運動と一般座標 | 64 |
| 3.4.3 ラグランジュ方程式 | 65 |
| 演習問題 | 70 |

4

機械の振動

| | |
|-----------------|----|
| 4.1 問題のモデル化 | 73 |
| 4.2 調和運動 | 74 |
| 4.3 1自由度系の振動 | 76 |
| 4.3.1 減衰のない自由振動 | 76 |
| 4.3.2 減衰振動 | 81 |
| 4.3.3 強制振動 | 88 |
| 演習問題 | 96 |

5 動力の伝達

| | |
|---------------------|-----|
| 5.1 原動機と負荷の特性 | 98 |
| 5.2 平衡速度とその安定性 | 101 |
| 5.3 加速問題 | 102 |
| 5.3.1 一定のトルクによる加速 | 102 |
| 5.3.2 一定でないトルクによる加速 | 102 |
| 5.4 変速機を含む動力伝達系 | 105 |
| 5.5 クラッチを含む動力伝達系 | 107 |
| 5.6 速度変動とその制御 | 109 |
| 5.6.1 はずみ車 | 109 |
| 5.6.2 調速機 | 112 |
| 演習問題 | 114 |

6 回転機械の力学

| | |
|--------------------------|-----|
| 6.1 概要 | 117 |
| 6.2 剛性ロータの釣合せ | 118 |
| 6.2.1 静釣合い条件 | 119 |
| 6.2.2 動釣合い条件 | 120 |
| 6.2.3 釣合せ | 120 |
| 6.3 弾性ロータの曲げ危険速度 | 121 |
| 6.3.1 固定座標系による運動の解析 | 122 |
| 6.3.2 回転座標系による運動の解析 | 127 |
| 6.3.3 弾性支持された1円板弾性ロータの運動 | 128 |
| 6.4 ふれまわり運動の安定性 | 130 |
| 6.4.1 系の減衰と安定性 | 130 |
| 6.4.2 非等方軸による不安定 | 133 |
| 6.4.3 オイルホイップ | 136 |
| 6.5 ジャイロ作用の影響 | 138 |

| | | |
|-------|---------------|-----|
| 6.5.1 | 運動方程式 | 139 |
| 6.5.2 | 軸系の固有振動数 | 143 |
| 6.5.3 | ふれまわりの危険速度 | 144 |
| 6.6 | 2次の危険速度 | 146 |
| 6.6.1 | 重力の作用を受ける非等方軸 | 146 |
| 6.6.2 | 回転速度が変動する場合 | 148 |
| | 演習問題 | 151 |

7

往復機械の力学

| | | |
|-------|-------------------|-----|
| 7.1 | 概 要 | 154 |
| 7.2 | ピストン-クランク機構の力学モデル | 155 |
| 7.2.1 | 運動学モデル | 155 |
| 7.2.2 | 力学モデル | 157 |
| 7.3 | ピストン-クランク機構に働く力 | 159 |
| 7.3.1 | 静的な取扱い | 159 |
| 7.3.2 | 動的な取扱い——運動方程式 | 161 |
| 7.3.3 | 慣 性 力 | 162 |
| 7.4 | 慣性力の釣合せ | 164 |
| 7.4.1 | 単シリンダの場合 | 164 |
| 7.4.2 | 直列多シリンダの場合 | 167 |
| 7.5 | カムと弁機構の力学 | 169 |
| 7.6 | クランク軸のねじり振動 | 172 |
| | 演習問題 | 177 |

参 考 図 書

演習問題略解

索 引

I

総論

1.1 機械と機械力学

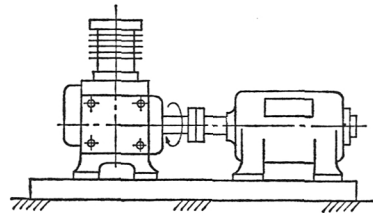
機械 (machine) の種類は実に多種多様であって、その共通的な性格を適切に表現することは難しいが、近代機械学の祖といわれる F. ルーロー¹⁾ によれば機械とは次のようなものをいう。

- (1) 力に対して抵抗を示す物体を部品 (機械要素) とし、これを組み合わせたものである。
- (2) 機械要素は有機的に結合・配列されていて、定まった運動を行う。
- (3) エネルギーを受けて有用な仕事をする。

この定義はエレクトロニクスを含まないので現代的ではないけれども、まずは妥当なものといえよう。

機械はまた、エネルギーの授受という観点から次の二つに分類される (図

1.1)。



内燃機関(原動機)→発電機(作業機械)
圧縮機(作業機械)←電動機(原動機)

図 1.1 原動機と作業機械

1) F. Reuleaux (1829~1905): 機構学の体系を整えたドイツの工学者。蒸気機関の弁線図で有名。上の定義は彼の著書 "Theoretische Kinematik" (1875) による。

〔1〕 原動機 (prime mover; motor) 自然のエネルギーを有効な機械的エネルギーに変換し、動力を外部に供給する機械。〔例〕内燃機関、風水力タービンなど（電動機もこれに含めてよい）。

〔2〕 作業機械 (working machine) 外部から動力の供給を受けて目的に応じた作業をする機械。〔例〕工作機械、運搬機械、繊維機械、発電機など。

いずれにせよ機械の本分は有用な仕事をすることにあるが、仕事は「力×距離」であり、機械の仕事遂行能力は「単位時間になしうる仕事の量」によって表現できる。ところで「仕事÷時間」＝「力×距離÷時間」＝「力×速度」（回転機械では「トルク×角速度」）である。これはワットの定義による動力（またはパワー、power）にほかならず、仕事エネルギーに等しいことを考えれば

$$[\text{動力}] = [\text{エネルギー}] \div [\text{時間}]$$

すなわち、動力とはエネルギーの流量である。機械がある定められた仕事をしているとき、機械の中では動力伝達系の各部品を通してエネルギーが流れているのであって、このことが機械の性質や構造と関係してさまざまな力学問題を生じさせる。

機械の中ではエネルギー変換や動力の伝達が行われているので、力によって運動が生ずると同時に、逆に機械が運動することによって各種の抵抗力が発生し、その相互作用によって機械の運転状態が定まる。そのほか構造しだいでは、望まない運動（例えば振動）が誘発されて機械の性能が損われることもある。このような力と運動との関係を知ることは、機械を設計製作したり、正しく取り扱ったりするうえで極めて重要である。機械力学(dynamics of machinery; machine dynamics)はこのことに関する学問であって、機械の精密化、高速化あるいは大形化に伴い、性能の保持と安全の確保のためにその重要性はますます増大している。

1.2 機械における力と運動との関係

機械の具体的な構造には触れないで、ここでは機械における力と運動の関係

を総括的にとらえてみよう。図 1.2 において、機械内のある特定の位置 ①（駆動点または入力端という）に外力 F_i と運動の速度 v_i ¹⁾ のいずれかあるいは両方が入力 (input) として加えられると、

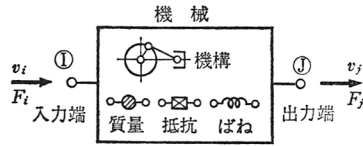


図 1.2 力と運動の伝達要素としての機械

これらは機械内部の構造や力学要素の組み合わせによって変換された後、①とは異なる他の点 ②（出力端）において、力 F_j と速度 v_j が出力 (output)、すなわち次段の入力として外に取り出される。出力 F_j と v_j に及ぼす F_i, v_i の

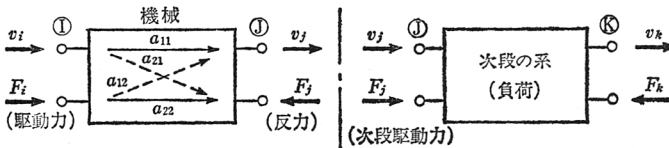


図 1.3 図 1.2 の系の信号の流れ (四端子網)

影響には互いに干渉があるので、系が線形 (linear) ならば入出力間の関係は、 F と v の正の向きを図 1.3 のように考えて

$$\begin{cases} v_j = a_{11}v_i + a_{12}F_i \\ F_j = a_{21}v_i + a_{22}F_i \end{cases} \quad (1.1)$$

あるいはマトリックス表示により

$$\begin{bmatrix} v_j \\ F_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ F_i \end{bmatrix} \quad (1.2)$$

$$[\text{出力}] = [\text{伝達マトリックス}] \cdot [\text{入力}]$$

と表される^{2), 3)}。

ここに

$$a_{11} = \frac{\partial v_j}{\partial v_i} : \text{速度倍率}, \quad a_{22} = \frac{\partial F_j}{\partial F_i} : \text{力倍率},$$

- 1) 速度 v の代わりに変位 $x = \int v dt$ が用いられることもある。
- 2) 系が線形でないときは、式 (1.1) は定常状態時の動作点 $(v_i, F_i)_0, (v_j, F_j)_0$ からの微小変化分 $\Delta v, \Delta F$ について、 $\Delta v_j = a_{11}\Delta v_i + a_{12}\Delta F_i, \Delta F_j = a_{21}\Delta v_i + a_{22}\Delta F_i$ とすべきである。
- 3) 図 1.3 または式 (1.2) は電気回路との対比でいえば、力 F は電圧 e に、速度 v は電流 i に、そして動力 Fv は電力 ei に対応する。機械系と電気系を対応させる線形回路理論については専門書を参照のこと。

$$a_{12} = \frac{\partial v_j}{\partial F_i} : \text{系の動きやすさ}^1) \quad a_{21} = \frac{\partial F_j}{\partial v_i} : \text{系の動きにくさ}^1)$$

は力と運動の関係を結びつける係数であって

$$\Delta = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} = 1 \quad (1.3)$$

の関係がある。これら $a_{11} \sim a_{22}$ は F_i, v_i, F_j, v_j とは無関係に二点 ①, ① 間にある機械の構造や力学的性質のみによって決まる。しかし機械要素は質量の慣性や部材の弾性などを含むため $a_{11} \sim a_{22}$ は一般には定数ではなく、入力 v_i と F_i の変化の速さ d/dt や蓄積 $\int dt$ を含む関数である。振動的な入力、例えば $v_i = \hat{v}_i \sin \omega t$ に対しては $a_{11} \sim a_{22}$ は角振動数 ω の関数となる。

与えられた機械で $a_{11} \sim a_{22}$ の値を求めるには、問題とする機械構造について運動学 (dynamics) の諸法則を用いて運動方程式を立て、これを解けばよい。機械が剛体だけから成り、かつ内部でエネルギーの発生や損失がなければ a_{11} は運動学 (kinematics) により、また a_{22} は静力学 (statics) 的に決定される。

図 1.3 の系にもどって、とくに出力端 ① の状態が

$$(1) \text{ 自由端 (無負荷) のときは} \quad F_j = 0$$

$$(2) \text{ 固定端 (無限大負荷) のときは} \quad v_j = 0$$

である。問題とする対象の状態にふさわしい条件を式 (1.2) に入れば、そのような端末条件 (負荷条件) に対する機械の力と運動の関係が定まる。

本書では図 1.3 および式 (1.2) で与えられる系の一般的な取り扱いについてはこれ以上立ち入らない。これらは振動学や制御工学の分野に属することがらとされている。

【例題 1.1】 図 1.4 に示すような、質量をもつてこについて式 (1.2) の関係を求めよ。ただし重力の影響はないものとする。

[解] 外部に F_j の力を出すのだから、てこにはその反作用として F_j が図のように左向きに加わる。てこの傾き角を θ とすると、幾何学的な関係から微小角の範囲では

$$\dot{\theta} = v_i/a \quad (a)$$

$$v_j = (b/a)v_i \quad (b)$$

支点まわりのてこの慣性モーメントを I とするとき、この点まわりのてこの回転運動の

1) 振動学や線形回路理論においては、系の動きやすさと動きにくさはそれぞれ、モビリティ、機械インピーダンスといわれる。

運動方程式は

$$I\ddot{\theta} = F_i a - F_j b$$

式 (a) を用いれば

$$I \frac{dv_i}{dt} \equiv I s v_i = F_i a^2 - F_j a b \quad (c)$$

ただし $d/dt = s$ (s は微分演算子¹⁾) とおいた。

ゆえに式 (b), (c) から

$$\begin{bmatrix} v_j \\ F_j \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} b/a & 0 \\ -I s a b & a/b \end{bmatrix} \begin{bmatrix} v_i \\ F_i \end{bmatrix} \quad (d)$$

が得られる。明らかに

$$\Delta = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} = 1$$

である。出力端が自由のときは $F_j = 0$ だから、式 (d) の第 2 行から

$$v_i = -\frac{a^2}{I s} F_i$$

したがって、駆動力 F_i によって生ずる駆動点の運動は次のようになる。

$$\text{加速度: } \frac{dv_i}{dt} \equiv s v_i = \frac{a^2}{I} F_i$$

$$\text{速度: } v_i = \frac{a^2}{I s} F_i = \frac{a^2}{I} \int F_i dt \quad \left(\text{ここに } \frac{1}{s} = \int dt \right)$$

$$\text{変位: } x_i = \frac{v_i}{s} = \int v_i dt = \frac{a^2}{I} \iint F_i dt^2$$

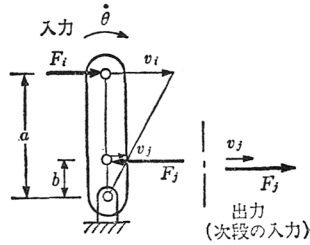


図 1.4 例題 1.1

1.3 機械力学の主要問題

先に述べたように機械力学は機械における力と運動の関係を機械構造や運転条件との関連において論ずる学問である。図 1.3 についていえば、係数 $a_{11} \sim a_{22}$ を問題の性質に応じて明らかにすることが必要で、それには機構の運動学、静力学およびニュートンの運動法則に基づく動力学がその基礎となる。本書では 2 章と 3 章においてまず力学を学び、知識の整理と理解の徹底をはかる。

機械力学が関係する現実問題の領域は非常に広く、発表された研究論文のテーマからみると表 1.1 のようになる。この内容を分析してみると、機械力学が扱うべき主要問題は次の三つに要約される。

1) $s = d/dt$ は物理的な意味をもっており、 v や F が角振動数 ω をもつ振動の場合は $s = j\omega$ (6.3.1 参照)、一定値のときは $s = 0$ である。

表 I.1 機械力学が関係する領域⁽¹⁾

| 領 域 | 比率[%] ⁽²⁾ | 領 域 | 比率[%] |
|----------------|----------------------|-------------------|-------|
| 機械要素の動力学と特性 | 17 | 流体機械の動力学 (配管系を含む) | 8 |
| 回転体の力学と振動 | 15 | 防振と振動利用 | 7 |
| 連続体の振動, 波動, 衝撃 | 12 | 構造物の動的解析 | 5 |
| 振動基礎理論 | 9 | 交通機械の動力学 | 3 |
| 熱・流体関連振動 | 8 | 工作機械の動力学 | 3 |

(1) 最近10年間に日本機械学会論文集中に現れた研究テーマによる。

(2) 論文総数 603編。

〔1〕 動力伝達問題 (power transmission) 望む条件で機械を正常に運転させることに関係する力学問題がこれである。図 I.3 において、有用な仕事または動力 $F_j v_j$ を取り出すためには系に加えるべき動力 $F_i v_i$ は機械の構造や力学諸元 ($a_{11} \sim a_{22}$) との関係でいかなるものでなければならないか、あるいは $F_i v_i$ を与えて望む $F_j v_j$ を取り出すには $a_{11} \sim a_{22}$ をどのようにすべきかの問題でもある。

したがって、ここでは原動機や負荷の力学的性質、動力伝達系を構成する機械要素 (変速機, クラッチなど) の構造や性質が関係する。本書では機械の所要動力の問題, 到達速度や加速時間の算定に関する知識, 速度変動とその抑制などについて 5 章で述べる。

〔2〕 振動問題 (vibration) 機械構造物がその中に弾性要素を含むときは振動が生じる。振動は騒音を発したり構成部品の疲労破壊や機械の性能低下をもたらすので、振動が生ずるメカニズムを知り、防止抑制の対策を立てなければならない。図 I.3 についていえば、 F_i や v_i が望ましくない入力、例えば振動的な入力の場合には、ある特定場所における機械の応答 F_j や v_j はやはり振動的となるが、これらは係数 $a_{11} \sim a_{22}$ によってどう影響を受けるか、 F_j や v_j を十分ゼロに近づけるためには $a_{11} \sim a_{22}$ をどうすればよいかの問題である。本書では 4 章でその基本を学び、実際の機械で現れる問題は 6 章と 7 章で扱う。

〔3〕 安定問題 (stability) 図 I.3 で入力 F_i , v_i の値が一定のときでも、機械の構造と運転状態によっては望ましくない出力 F_j , v_j が発生し、これが

索引

【A】

安定問題 6
安定領域 135
安定性 7, 101, 113, 130

【B】

ばね定数 122, 139
ベクトル 11
 回転—— 124
 接線—— 18
 単位—— 11
弁機構 154, 169
弁のおどり 170
分布質量 158

【D】

第2高調波 157
弾性の主軸 134
弾性ロータ 117
 1円板—— 121
弾性支持 118, 128
ダランペルの原理 60
伝達マトリックス 3
同期速度 100
動力学 4
動力 2, 99, 108
 —の伝達 98
 —伝達問題 6
 —特性曲線 99
動的倍率 125, 176
動釣合い 120
 —条件 120
動釣合せ 120

【E】

エネルギー変動率 111
エネルギー法 79
エネルギー保存の法則 27
エンジンストール 102

【G】

外部減衰 130, 131
外積 12
原動機 2, 98
減衰 130
 —比 85, 131
 —力 81
 —振動 81
 —自由角振動数 83
外部—— 130, 131
内部—— 130, 131
減衰率 84
 対数—— 84, 132
減衰定数 81
 臨界—— 85
合不釣合い 119
剛性ロータ 117
剛支持 118
剛体 32

【H】

ハミルトンの原理 63
初位相 123
はずみ車 109
平均固有振動数 134
平衡速度 101, 103
並列ばね 78

変分 63
変位計 95
変位による強制振動 94
変速機 99, 105
偏重心 119
非等方性パラメータ 134
非等方支持 128
非等方軸 133, 146
平面極座標 21
方向余弦 16
保存力 27
不安定 133, 135
負荷 98
復原力 139
複素表示 123
ふれまわり 125, 130, 144
 前向き—— 130
 後向き—— 130
フレーム 117
フーリエ級数 156, 163, 174
フルビッツの安定条件 87, 113
フルビッツの定理 87
不足減衰 85
不釣合い 119
 —の合モーメント 119
 合—— 119

【I】

移動軌跡 34
一般運動量 69
一般座標 65
位相 75
 —角 75
1円板弾性ロータ 121
位置エネルギー 27
1面釣合せ 121

1次慣性力 168
 —の釣合い条件 168

【 J 】

ジャイロ項 141
 ジャイロ効果 55
 ジャイロモーメント 55, 56
 ジャイロ作用 138
 ジャーナル 137

【 K 】

回転ベクトル 124
 回転半径 41
 回転機械 117
 回転質量 158, 159, 162
 回転速度の変動 148
 回転座標系 22, 38, 122, 127
 角速度 14, 75
 角運動量 28, 38, 75, 140
 —の定理 32, 38
 —保存の法則 32
 カム 154, 169
 慣性 139
 —楕円体 48
 —偶力 159
 —主軸 49, 120
 —テンソル 40
 —乗積 40, 46, 120
 慣性モーメント 40, 46
 —の主値 48
 慣性力 60, 118, 161, 162, 164
 2次— 168
 残留— 165
 仮想変位 58
 加速度 20
 —計 96
 求心— 23
 絶対— 22
 仮想仕事 59
 —の原理 59
 基本波 157
 基本振動数 149
 機械 1

—インピーダンス 4, 106
 危険速度 126, 144
 曲げ— 125
 2次— 146
 主— 146
 こまの運動 53
 根軌跡 86
 コリオリの加速度 23, 127
 交流誘導電動機 99
 拘束条件 64
 固定軌跡 34
 固有角振動数 76, 123
 固有振動数 76, 143
 固有値 124
 駆動点 3
 クランク 158
 —軸 154, 172
 クラッチ 107
 曲率 18
 —半径 18
 強制振動 89
 —の仕事 92
 変位による— 94
 共振 91
 求心加速度 23

【 M 】

曲げ危険速度 125
 前向きふれまわり 130
 前向き励振 144
 モビリティ 4
 モーメント 13
 ジャイロ— 55, 56
 慣性— 40, 46
 力の— 13
 無限小回転 13

【 N 】

内部減衰 130, 133
 内積 12
 眼りごま 56
 ねじり振動 78, 172
 2倍波 157

2面釣合せ 120
 2次慣性力 168
 2次の危険速度 146
 入力 3

【 O 】

OHC方式 170
 OHV方式 169
 往復機械 154
 往復質量 159, 162
 —の釣合せ 165
 オイラー方程式 49
 オイラー角 34, 53
 オイルホイップ 136

【 P 】

パワー 2
 ピストン 154, 158
 ピストン-クランク機構 154, 155
 ポテンシャル 27
 ポテンシャルエネルギー 27

【 R 】

ラグランジュ方程式 65
 ラグランジュ関数 63, 68
 励振 144
 前向き— 144
 後向き— 145
 連接棒 154, 158
 レオノーム系 65
 力学モデル 7, 157, 174
 臨界減衰定数 85
 ロータ 117
 —軸受系 117

【 S 】

作業機械 2
 歳差運動 54
 最小作用の原理 64
 静力学 4

静止座標系 22
 静たわみ 90
 静釣合い 119
 —条件 119
 静釣合せ 121
 線形回路理論 3
 線形性 7
 接線ベクトル 18
 仕事 26
 —率 93
 振動エネルギー 88
 振動問題 6
 振動の絶縁 93
 振動数 75
 基本— 149
 固有— 76, 143
 振幅 75
 シリンダ 154
 姿勢角 137
 質点 10, 25
 —系 30
 質量中心 31
 相反定理 140
 速度 20
 速度変動 109
 —率 111
 相対加速度 22, 127
 相対速度 23
 相対運動 22
 すべり 100
 —軸受 136
 数学モデル 8
 スカラー量 11
 スクロノーム系 65
 スピン軸 138
 ストールトルク 98
 章動 54
 ショックアブソープ 81
 周波数特性 91
 主法線 18

周期 75
 主危険速度 146
 瞬間中心 33
 修正面 120
 修正量 120
 出力 3
 集中質量 158

【T】

対数減衰率 84, 132
 単位ベクトル 11
 端末条件 4
 定格動力 100
 定格トルク 100
 テンソル 47
 慣性— 40
 力のベクトル図 91
 力の伝達率 93
 力のモーメント 13
 等方支持 128
 非— 128
 等価ばね 78
 特性方程式 82, 104, 113, 124,
 143
 特性根 104, 124
 特性曲線 98
 トルク・回転速度特性 98
 等速円運動 21
 釣合い
 動— 120
 静— 119
 釣合い条件 168
 1次慣性力の— 168
 釣合せ 118, 120, 164
 動— 120
 1面— 121
 2面— 120
 静— 121
 超過減衰 85

直列ばね 78
 直列多シリンダ往復機関 167
 调速機 112
 調和運動 74

【U】

運動エネルギー 26
 運動学 4
 —モデル 7, 155
 運動量保存の法則 31
 運動の法則 10
 運動量 25, 37
 —の定理 31
 運搬加速度 127
 運搬線 144, 145
 後向きふれまわり 130
 後向き励振 145

【Y】

油膜の力 137

【Z】

座標変換 127
 座標系の変換 15
 残留慣性力 165
 絶対加速度 22
 絶対速度 22
 自動制御系 112
 自動調心性 126
 軸受 117
 時定数 83, 103
 自由度 7, 65
 自由振動 76
 自在継手軸 150
 従法線 19
 重力 133, 146
 重心 31, 37

三輪 修三

1953 年 名古屋大学工学部機械学科卒業
1953 年 (株)明石製作所入社
技術第1課長等を経て
1965 年 青山学院大学助教授
1975 年 青山学院大学教授
1975 年 工学博士
1999 年 青山学院大学名誉教授

坂田 勝

1956 年 東京工業大学機械工学課程卒業
1964 年 工学博士
1965 年 東京工業大学助教授
1975 年 東京工業大学教授
1993 年 東京工業大学名誉教授
1993 年 拓殖大学教授
2003 年 拓殖大学名誉教授

機 械 力 学

Dynamics of Machinery

© Shuzo Miwa, Masaru Sakata 1984

1984 年 5 月 25 日 初版第1刷発行

2008 年 6 月 10 日 初版第18刷発行

検印省略

著 者 三 輪 修 三
坂 田 勝
発 行 者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来辰巳
印 刷 所 富士美術印刷株式会社

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>

ISBN978-4-339-04044-9

(壮光舎印刷, 愛千製本所)

Printed in Japan



無断複写・転載を禁ずる

落丁・乱丁本はお取替えいたします