現場で役立つ応用力を養う

工業力学入門

長松 昭男
長松 昌男 【共著】

コロナ社

【ま　え　が　き】

本書は，ものづくりを志す学生や若手の技術者・技能者が，初めて工学の味に触れ，固体・流体・熱・電気の力学はもちろん工学全体に共通な基本物理法則を学び，同時に身近にある簡単な種々の機械・装置のからくりを理解することを通して，現象から本質を見抜く勘と洞察力・複合領域を横断して見通す総合力と水平思考力・企業内のものづくり過程で日々生じる様々なトラブルに対処する能力など，現場で役立つ応用力を養うことを目的とする．

筆者が半世紀近くの大学教員の経験を通じて最も苦く感じることは，大学生が在学中に習得すべき必修総単位数が昔と変わらない中で，CAD・CAE・FEM の使い方，コンピュータ言語などのソフト・道具・手段に関する授業が増え，その分だけ力学の本質に関する授業数を減らさざるを得なかったため，卒業時の学力低下を招いたことである．

ものづくりに必要なのは，市販の CAE ツール・スマートフォン・インターネット等を操作し知識を得る手技ではない．このようなことは実業務中に自然に身に付く．学生・若手社員がまず習得しなければならないのは，市中に溢れる膨大な情報の海から必要なものを選択して拾い出し，正しく組み上げて巧みに使いこなすことを可能にする，工学上の勘・嗅覚・センス・洞察力であり，実製品の開発時に遭遇する諸問題を乗り越えていく能力である．

近年，人工知能が示すように，最新技術はソフトにあるように一見感じる．しかし，優れたソフトは優れたハードに支えられて初めて機能する．例えば，人工知能の中核部品である超 LSI 作成には 0.01 μm 程度の研磨技術・装置が，それを生かすロボットの精密制御には μm 以下の作動・位置決め技術・装置が不可欠である．そして，ハードの根幹は力学にあり，ものづくりを志す初心者は必ず力学の習得から始めなければならない．

19 世紀末にエネルギー保存則が確立し，20 世紀初頭に対称性の概念が数学から物理学に導入された．これにより現在，力学の原点がこれら 2 つにあることが

判明している（参考文献 18 参照）．このことは“力学の考え方”としては正しいが，力学をものづくりに応用する技術者は必ず，始祖ニュートン以来の始点である力と運動から力学を学び始めなければならない．“始点から入り原点に至る”．これは力学を教育・学習する際の正しい道筋であり，本書もこれに沿って構成されている．

さて，日本が最も得意とするのは実機・実製品に直結する即戦応用力である．ルネサンス以降西洋で生まれ育った科学技術を明治初期に導入し短期間で消化吸収した日本は，昭和の昔コンピュータが世に生まれる以前に竹製の計算尺と製図板で当時世界最大の戦艦大和・卓越した速度と旋回性能を有する零戦戦闘機・世界初の新幹線を開発し，また前世紀末には自動車技術で世界を制覇した．これらは，往年の日本の技術者がいかに有能で世界最高の実力を有していたかを示している．

前述のように，これに比べ最近の大学卒業時の学生の学力は低下している．しかし日本は，磁気浮上車両・ハイブリッド車を世界に先駆けて生み出すなど，現在でも世界の先端を行く高い技術力を維持している．これは一に，我が国を支える主要企業が洗練された社内教育体制を有し，新入社員・若手技術者を厳しく鍛え上げているためである．約 40 年間に渡り数多くの企業で社外講師を引き受ける機会に恵まれた筆者は，日本の主要企業が新入社員を世界最高の技術者にまで自力で育成し続けている姿を，目の当たりにしてきた．そこで，筆者のこの貴重な体験を広く世に残す必要性を痛感し，本書を執筆するに至った．

初心者が一人前の技術者にまで成長するための最適の近道は，現場で役立つ応用力を養成することである．そのためには，大学受験の際に経験したように，基礎を学ぶと共に力学を応用している身近で簡単な機械・装置・現象のからくりを解明する数多くの演習問題をひたすら解くことから始めるのが最良である．それにより，まず現場で遭遇する問題の題意を理解してそれを適確に表現する図を作成し，次にその図から問題を数式化し，さらにそれを用いて解決策を得る能力を獲得できる．本書の目的はここにあり，181 もの演習問題・例題を有し，これらすべてに分かり易い解答を付記してある．

本書は大学や企業内教育の教科書・自習書として適切・有効であることを，筆者は長年の経験に基づき確信し推奨する．また本書は完全解答付き演習問題集としても活用できる．本書をヒントにすれば，物理学・力学の分野を対象にする大学入試・定期試験・企業教育の演習問題の作成に苦労しないであろう．

本書の概要は，下記の通りである．

第 1 章　力　では，力学を代表する力の概念を紹介する．まず，合成・分解・モーメント・偶力等，力の性質と働きを述べる．次に，物体に作用する力の効果を示す．続いて，懸垂線・静水圧・浮力・固体摩擦等，物体に分布する様々な力の内容を詳説する．

第 2 章　運動　では，まず，運動する質点・質点系の速度・加速度を定義し，それらの速度を図示するホドグラフと曲率の概念を示す．次に，剛体の並進運動と回転運動の関係から導く瞬間中心とその軌跡を紹介する．また，運動する座標系上をさらに運動する物体の速度と加速度を導き，コリオリの加速度の正体を明らかにする．

第 3 章　力と運動の関係　では，力から運動への関係を記述し，力学創設の始点となったニュートンの 3 法則を説明する．また力学の単位系を定義し，国際単位系を紹介する．

第 4 章　質点の動力学　では，落体・放物体・拘束体・荷電粒子・惑星・彗星・人工衛星など様々な物体に作用する力とそれにより生じる運動を数式展開する．

第 5 章　エネルギー原理　では，全物理学を支配する基本法則であるエネルギー原理を紹介し，力学の原点・根幹をなす力学エネルギー保存則について詳しく説明する．

第 6 章　運動量と角運動量　では，質点の運動量保存則と角運動量保存則を紹介する．

第 7 章　剛体の動力学　では，剛体の回転運動を決める慣性モーメントと慣性乗積を定義し，慣性楕円体を記述する．次に，剛体運動の解析に用いるオイラー角とオイラーの運動方程式を紹介し，これらを駆使してこまやジャイロの運動を

数式展開する．

第 8 章　振動　では，弾性体の動力学・音響・波動・電磁波・光波・重力波への入口である 1 自由度系の振動を紹介し，実用上重要な振動絶縁の方法を説明する．

上記各章にはそれぞれ，数多くの例題・演習問題を詳しく分り易い解答と共に付記し，内容を理解しそれを現場で生じる雑多な問題に応用できる実力の養成を可能にしている．

筆者は長年，教育・研究面から吉村卓也首都大学東京教授・御法川学法政大学教授，実用面から天津成美・西留千晶両氏（キャテック株式会社）に様々なご教示・ご協力をいただいていることを記し，深く感謝申し上げる．

なお本書には，著者の力不足から来る不完全さや誤りが存在することを恐れる．読者の皆様からこれらをご指摘・ご教示いただければ，この上ない幸いである．

2025 年 3 月　　著者代表　長 松 昭 男

【目　　次】

第1章 力

1.1 力の働きと効果 …… 1

1.1.1 1点に作用する力 …… 1

1.1.2 作用点が異なる力の合成 …… 4

1.1.3 力のモーメント …… 6

1.1.4 偶　　力 …… 10
［問題1］(1－1) ～ (1－4) …… 13

1.2 物体に作用する力 …… 16

1.2.1 重心（質量の中心） …… 16
［問題2］(2－1) ～ (2－4) …… 18

1.2.2 拘束された物体に作用する力 …… 22

1） 接触点・支点に作用する力 …… 22
［問題3］(3－1) ～ (3－3) …… 23

2） 骨組構造 …… 26
［問題4］(4－1) …… 28
［問題5］(5－1) ～ (5－8) …… 33

3） 仮想仕事の原理と釣合 …… 43
［問題6］(6－1) ～ (6－4) …… 45

1.2.3 分布する力 …… 49

1） 分布荷重 …… 50
［問題7］(7－1) ～ (7－3) …… 52

2） 懸垂線 …… 54

3） 静水圧 …… 57
［問題8］(8－1) ～ (8－3) …… 63

1.2.4 摩擦と力の釣合 …… 68

［問題 9］(9－1) ～ (9－9) …… 71

第2章 運　　動

2.1 質点の運動（速度と加速度） …… 79
［問題 10］(10－1) ～ (10－6) …… 87
2.2 剛体の運動 …… 92
2.2.1 剛 体 と は …… 92
2.2.2 並進運動と回転運動 …… 92
2.2.3 平 面 運 動 …… 93
2.2.4 瞬 間 中 心 …… 96
［問題 11］(11－1) ～ (11－11) …… 100
2.2.5 一 般 運 動 …… 110
2.2.6 相 対 運 動 …… 114
［問題 12］(12－1) ～ (12－9) …… 119

第3章 力と運動の関係

3.1 ニュートンの法則 …… 132
3.2 力学系の単位 …… 140
3.2.1 MKS 単位系と CGS 単位系 …… 141
3.2.2 重力単位系 …… 141
3.2.3 国際単位系（SI） …… 142
3.2.4 次　　元 …… 144
［問題 13］(13－1) ～ (13－6) …… 148

第4章 質点の動力学

4.1 質点の運動 …… 151

4.1.1　落体・放物体の運動 …… 151
4.1.2　拘 束 運 動 …… 154
4.1.3　電磁界中の荷電粒子の運動 …… 159
［問題 14］（14－1）～（14－19） …… 161
4.2　中心力による惑星の運動 …… 177
［問題 15］（15－1）～（15－5） …… 184
4.3　運動座標系における動力学 …… 186
［問題 16］（16－1）～（16－5） …… 191

第5章　エネルギー原理

5.1　力学エネルギー保存則 …… 194
5.2　質点系のエネルギー …… 201
5.2.1　重心の運動とエネルギー …… 201
5.2.2　仕事率（動力） …… 203
［問題 17］（17－1）～（17－15） …… 204

第6章　運動量と角運動量

6.1　質点の運動量と力積 …… 219
6.2　質点系の運動量と角運動量 …… 223
6.2.1　運動量の法則とその保存則 …… 223
6.2.2　角運動量の法則とその保存則 …… 225
6.2.3　2 体 問 題 …… 228
［問題 18］（18－1）～（18－17） …… 229

第7章　剛 体 の 動 力 学

7.1　剛体の回転運動 …… 242

7.2　慣性モーメントと慣性乗積 …… 248
［問題 19］(19－1) ～ (19－14) …… 254
7.3　回転体の反力と釣合せ …… 270
7.4　剛体の平面運動 …… 273
［問題 20］(20－1) ～ (20－11) …… 282
7.5　剛体の空間運動 …… 292
7.5.1　オイラー角 …… 292
7.5.2　オイラーの運動方程式 …… 295
7.5.3　こまの運動 …… 299
7.5.4　外力モーメントが 0 の運動 …… 305
7.5.5　ジャイロの運動 …… 308
［問題 21］(21－1) ～ (21－4) …… 313

第8章　振　　動

8.1　自 由 振 動 …… 318
8.1.1　力 学 特 性 …… 318
8.1.2　運動方程式と解 …… 320
8.2　強 制 振 動 …… 324
8.2.1　不 減 衰 系 …… 324
8.2.2　粘性減衰系 …… 327
8.3　振 動 絶 縁 …… 330
8.3.1　質量から基礎への伝達 …… 330
8.3.2　基礎から質量への伝達 …… 332
［問題 22］(22－1) ～ (22－14) …… 333

参 考 文 献 346
索　　引 347

第1章　力

1.1　力の働きと効果

1.1.1　1点に作用する力

万物を透過し全宇宙に遍在する万有引力・リンゴを落下させる重力・髪の毛を逆立てる電気力・原子や分子を結合する化学力・鉄を引き付ける磁気力・ばねを伸ばす弾性力・接触する固体間の摩擦力・流体の粘性力など，私達は様々な**力**に囲まれて暮らしている．

力学は文字通りこれら力の学問である．本書の題名は『工業力学入門』であるから，本章ではまず，この力という概念がものづくり工業の世界でどのように考えられ扱われているかについて，詳しく学ぶ．

図 1.1 のように，複数の力が作用してもそれらが互いに打ち消し合って何の効

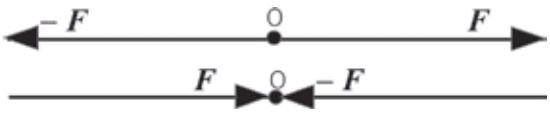


図 1.1　1点に加わり釣り合っている2力（中央の黒丸 O は作用点）

注）　長さ・時間・温度などのように大きさだけで決まる量を**スカラー**と言い，力・変位・速度などのように大きさと方向を合わせ持つ量を**ベクトル**と言う．ベクトルは始点と終点からなる1本の線分（有限長さの直線）で表現される．本書では，スカラーを細字・ベクトルを太字で表す．

果も生じないときには，これらの力は釣り合っている．この**力の釣合**を扱うのが**静力学**である．

図 1.2 は，作用点（O）が同一で方向が異なる 2 つの力 $\boldsymbol{F}_1$ と $\boldsymbol{F}_2$ を示す．これら 2 力は，同じ効果を持つ別の 1 つの力 $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$ で置き換えることができる．これを**合力**と言い，合力を求めることを**力の合成**と言う．この逆は**力の分解**と言い，分解で得られる複数（この場合には 2 つ）の力を**分力**と言う．図 1.2 のように，合力 $\boldsymbol{F}$ は 2 つの分力 $\boldsymbol{F}_1$ と $\boldsymbol{F}_2$ を 2 辺とする平行四辺形の対角線に等しい．これを**平行四辺形の法則**と言い，この法則を用いて力の合成・分解を自由に行うことができる．図 1.2 の平行四辺形の右辺の線分（点線）は，力 $\boldsymbol{F}_2$ のベクトル線分（平行四辺形の左辺実線）の作用点（始点）を点 O から力 $\boldsymbol{F}_1$ の先端に移動したものである．このように力 $\boldsymbol{F}_1$ の先端を始点にして力 $\boldsymbol{F}_2$ を描けば，点 O を始点としその先端を終点とするベクトル（平行四辺形の対角線）は合力 $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$ になる．

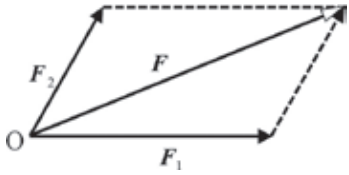
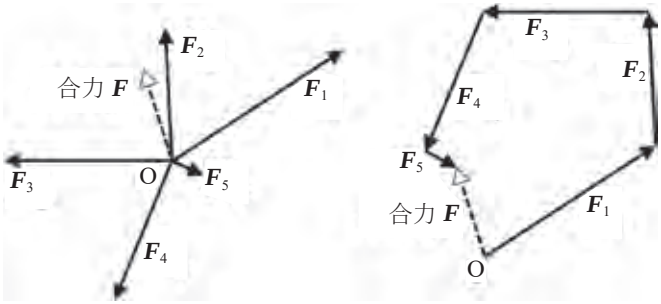


図 1.2　平行四辺形の法則による力の合成と分解
$\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$

1 点に多くの力が働く場合には，この方法を用いれば，わざわざ平行四辺形を描くことなく，2 力毎の合成を順次行ってすべての力を合成することができる．**図 1.3**（a）は 3 次元空間内の 1 点 O に働く 5 個の力 $\boldsymbol{F}_1$〜$\boldsymbol{F}_5$（実線）の例であり，これら 5 力の合力 $\boldsymbol{F}$（点線）は平行四辺形の法則により図 1.3（b）のように求めることができる．その手順を以下に説明する．

まず作用点 O を始点として力 $\boldsymbol{F}_1$ を描き，次にその先端を始点として力 $\boldsymbol{F}_2$ を描くと，作用点 O からその先端までの線分は力 $\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$ になる．次に $\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2$ の



（a） （b）

図 1.3 空間内の 1 点に作用する 5 力（実線）とそれらの合力（点線）

先端を始点として力 $\boldsymbol{F}_3$ を描くと，作用点 O からその先端までの線分は力 $\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\boldsymbol{F}_3$ になる．$\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\boldsymbol{F}_3$ の先端を始点として力 $\boldsymbol{F}_4$ を描くと，作用点 O からその先端までの線分は力 $\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\boldsymbol{F}_3+\boldsymbol{F}_4$ になる．$\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\boldsymbol{F}_3+\boldsymbol{F}_4$ の先端を始点として力 $\boldsymbol{F}_5$ を描くと，作用点 O からその先端までの線分は全合力 $\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F}_1+\boldsymbol{F}_2+\boldsymbol{F}_3+\boldsymbol{F}_4+\boldsymbol{F}_5$ になる．図 1.3 の点線はこの全合力 $\boldsymbol{F}$ を示す．

1 点に n 個の力 $\boldsymbol{F}_i$（$i=1, \cdots, n$）が働く場合にそれらが釣り合っているためには，それらの合力が $\boldsymbol{F}=0$ でなければならない．すなわち

$$\boldsymbol{F}=\sum_{i=1}^{n}\boldsymbol{F}_i=0 \tag{1.1}$$

図 1.3 の例では $n=5$ であり，これらが釣り合っているためには図 1.3 内の点線の長さが 0 でなければならない．その場合には，図 1.3（b）内の実線だけで閉じた 5 角形が形成される．

一般に，3 次元空間内の 1 点に作用している多くの力が釣り合っている場合には，これらの力が形成する多角形（一般には平面図形ではない）は閉じていなければならない．このような多角形を**力の多角形**と言う（図 1.3（b）の例で力が釣り合っている場合には，合力（図中の点線）が 0 であるから，力 $\boldsymbol{F}_5$ の先端と始点 O が一致し，力の多角形は閉じた 5 角形になる）．

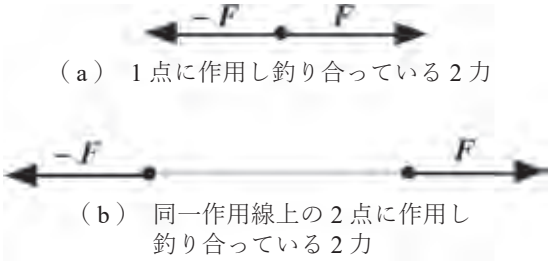
作用力 $\boldsymbol{F}_i$（$i=1, \cdots, n$）とそれらの合力 $\boldsymbol{F}$ の直交座標系（x，y，z）方向の成

分 $(X_i,\ Y_i,\ Z_i)$ と $(X,\ Y,\ Z)$ を用いて力の釣合式(1.1)を書くと

$$X=\sum_{i=1}^{n}X_i=0 \qquad Y=\sum_{i=1}^{n}Y_i=0 \qquad Z=\sum_{i=1}^{n}Z_i=0 \tag{1.2}$$

1.1.2　作用点が異なる力の合成

物体の2点に作用する2力は，大きさが等しく，向きが反対で，同一直線上にあれば，釣り合っている．そして，どちらの力の作用点をこの直線上の他の点に移動させても，力の釣合は保たれる．**図 1.4**(a)は1点に作用し釣り合っている2力 $\boldsymbol{F}$ と $-\boldsymbol{F}$ を示す．図1.4(b)はそれらの力を同一作用線上で移動させた2力を示しており，両図共に力の釣合が成立している．このように力の効果は，その作用線上の任意点に力を並進移動させても変化しない．



（a）　1点に作用し釣り合っている2力

（b）　同一作用線上の2点に作用し釣り合っている2力

図 1.4　同一作用線上で作用点を並進移動させるときの力の釣合

このことを利用すれば，作用点が異なり平行でない平面内の2力を合成してそれらの合力を求めることができる．**図 1.5** は，剛体平面上の異なる2点AとBに作用している互いに平行でない2力 $\boldsymbol{F}_1$ と $\boldsymbol{F}_2$ を示す．これら2力の作用線は互いに平行ではないから，それらの延長線は必ず交わる．この場合にはその交点は点Cである．そこでこれら2力の作用点を共に点Cに移動すれば，図1.2で説明した平行四辺形の法則を用いて合成し，合力 $\boldsymbol{F}$（図1.5内の白抜き矢印）を求めることができる．

図 1.6 は，剛体平面上の異なる2点AとBに作用している平行な2力 $\boldsymbol{F}_1$ と

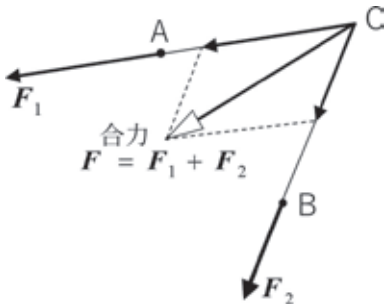


図 1.5 作用点が異なり平行でない 2 力 F_1 と F_2 の合成

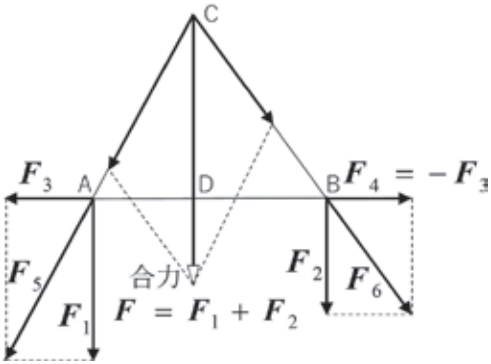


図 1.6 平行な 2 力 F_1 と F_2 の合成

F_2 を示す．これら 2 力の作用線は平行であるから，それら両者をいくら延長しても交差することはなく，それらの交点は得られない．そこでこれら 2 力は，図 1.5 の方法を用いて合成することはできない．このような場合には，これら 2 力の作用点 A と B にそれぞれ互いに釣り合った力 F_3 と $F_4 = -F_3$ を作用させる．F_1 と F_3 を合成すれば $F_5 = F_1 + F_3$ が，また F_2 と $F_4 = -F_3$ を合成すれば $F_6 = F_2 + F_4 = F_2 - F_3$ が得られる．F_3 と F_4 は釣り合っているから互いに打ち消し合い，両者の存在はこの系の力の釣合には何の効果も及ぼさない．そこで，F_1 と F_2 を合成する代わりに F_5 と F_6 を合成すればよい．F_5 と F_6 は互いに平行ではないから，図 1.5 の方法を用いて合成できて，合力

索　　引

【あ】

圧力の中心　60
アルキメデスの原理　61

【い】

位　相　321
位　置　79
位置エネルギー　196
移動軌跡　98
移動支点　23

【う】

運動エネルギー　196
運動座標系　114
運動の法則　132
運動方程式　320
運動量　133,194,219
　――の法則　223
運動量保存則　223
運搬加速度　115
運搬速度　115

【え】

エネルギー　194
エネルギー保存則　195
円　180
遠日点　181
遠心力　187
円錐振子　165
円柱極座標　85

【お】

オイラー角　293
オイラーの運動方程式　297
オイラーの公式　321
応　力　137

【か】

回　転　6
回転運動　93
回転支点　22
回転半径　245
角運動量　178,194
　――の法則　226
角運動量保存則　226
角加速度　85
角速度　85
角速度ベクトル　86
仮想仕事の原理　44
仮想変位　44
換算質量　228
慣　性　132,319
慣性系　187
慣性主軸　252
慣性乗積　251
慣性楕円体　252
慣性抵抗　133
慣性テンソル　296
慣性の法則　132
慣性反力　133
慣性モーメント　243,249
慣性力　133,319
完全弾性衝突　221
完全非弾性衝突　221

【き】

危険速度　325
基本単位　140
球極座標　85
共　振　325
極慣性モーメント　249
極座標　83
曲　率　82
曲率中心　82
曲率半径　82
近日点　181

【く】

偶不釣合　273
偶　力　10
　――のモーメント　11
クーロンの法則　69
組立単位　141

【け】

ケイター―の可逆振子　250
ケプラーの法則　182
減衰固有角振動数　323
減衰固有周期　323
減衰固有振動数　323
懸垂線　54
減衰比　323

【こ】

向心加速度　87
向心力　142
拘束運動　154
拘束条件　154
剛　体　92,133
合　力　2
国際単位系　142
固定軌跡　98
固定座標系　114
固定支点　23
コーナリングフォース　281
こまの運動　299
固有角周波数　321
固有角振動数　321
固有周期　321
固有周波数　321
固有振動数　321

コリオリ　115
　——の加速度　115
　——の力　187
転がり抵抗係数　277
転がりの摩擦係数　276

【さ】

サイクロトロン振動数　161
歳差運動　309
座標変換行列　95,253
作　用　194
作用反作用の法則　132
三角関数　320

【し】

次　元　133
　——の同次性の原理　145
次元解析　145
次元式　144
仕　事　194
仕事率　203
実体振子　245
質　点　133
質点系　133
　——の角運動量　225
質　量　132
　——の中心　17
時定数　324
ジャイロ　309
ジャイロ現象　309
ジャイロスコープ　309
ジャイロモーメント　310
周　期　136
周期関数　321
自由支点　23
重　心　17
重心運動の法則　202
重心系　227
自由振動　318
終端速度　152
従法線ベクトル　83
重力単位系　141
主慣性モーメント　252
主法線　82
主法線ベクトル　82
瞬間回転軸　97
瞬間中心　97
　——の軌跡　98
ジョイント　26
章　動　304
初期位相　321
振　動　318
　——の中心　246
振動数　136
振動伝達率　330,333
振　幅　136,321

【す】

スカラー　1
図　心　18
ストークスの法則　148

【せ】

静釣合試験　273
静定トラス　27
静摩擦角　72
静摩擦係数　69
静力学　2
接線ベクトル　79,81
絶対運動　114
接　点　26
全圧力　59
せん断力　32
せん断力図　32

【そ】

双曲線　180
相対運動　114
相対加速度　115
相対速度　93,115
相当集中荷重　51
相当短振子の長さ　246
速　度　79
速度平面　81
塑性変形　137

【た】

対称性　195
対数減衰率　324
楕　円　180
打撃の中心　278
縦弾性係数　137
ダランベールの原理　133
単振動　136,320
弾性限界　137
弾性体　133,137
　——の動力学　318
弾性波　139
弾性変形　137
短半径　181

【ち】

力　1
　——の合成　2
　——の作用反作用の法則　132
　——の多角形　3
　——の釣合　2
　——の分解　2
　——のモーメント　7
中心力　177
長半径　181
直交変換　253

【て】

定常歳差運動　299

【と】

動釣合試験　273
動粘性係数　147
動摩擦係数　69
動　力　203
トラス　26

【に】

ニュートンの法則　132
ニュートンポテンシャル　200

【ね】

ネーターの定理　195
粘　性　57,319
粘性係数　146
粘性抵抗力　319

【は】

ハーポールホード錐　113,308
波動方程式　139
跳返りの係数　220

パワー　203
半直弦　180
万有引力　177

【ひ】

ピストン・クランク機構　26
ひずみ　137
ピッチ円　121
非保存力　201

【ふ】

復元性　319
復元力　135,137,319
複素指数関数　320
不減衰共振　325
不静定トラス　27
フックの法則　137
不釣合　273
浮　力　61
　――の中心　61
分　力　2

【へ】

平行四辺形の法則　2
並　進　6
並進運動　93
平面運動　94
べき乗　144
ベクトル　1
ベクトル積　7
ベルヌーイの方程式　140
変換行列　253

【ほ】

ポアズイユの法則　147
方向余弦　80
放物線　180
ポールホード錐　113,308
保存力　137,197
　――の場　197
ポテンシャルエネルギー　197
ホドグラフ　81
骨組構造　26

【ま】

曲げモーメント　32
曲げモーメント図　32

【め】

メタセンタ　62
面積速度　179

【も】

モデルベース開発　195

【や】

ヤング率　137

【ら】

ラーメン　26

【り】

力学エネルギー　197
　――の消散　201
力学エネルギー保存則　197
力学特性　319
力系の中心軸　12
力　積　219
力　線　198
離心率　180
臨界減衰係数　323
リンク機構　26

【れ】

レイノルズ数　147

【ろ】

ローレンツ力　160

【C】

CGS 単位系　141

【M】

MKS 単位系　141

【数字】

2 体問題　228

―― 著 者 略 歴 ――

長松　昭男（ながまつ　あきお）

1970 年　東京工業大学大学院理工学研究科
　　博士課程修了
　　工学博士
1970 年　東京工業大学工学部助手
1984 年　東京工業大学工学部教授
2000 年　東京工業大学名誉教授（校名変更のため，2024 年より東京科学大学名誉教授）
　　法政大学工学部教授（2010 年まで）
2010 年　キャテック株式会社勤務
　　現在に至る

長松　昌男（ながまつ　まさお）

1997 年　東京都立大学大学院工学研究科
　　博士後期課程修了
　　博士（工学）
1997 年　北海道工業大学工学部講師
2008 年　北海道工業大学創生工学部准教授
2014 年　北海道科学大学工学部准教授
　　現在に至る

現場で役立つ応用力を養う 工業力学入門

Introduction to Engineering Mechanics for Developing Useful Application Skills in the Field

© Akio Nagamatsu, Masao Nagamatsu 2025

2025 年 5 月 12 日　初版第 1 刷発行

検印省略

著　者　長松　昭男
　　長松　昌男
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
製本所　株式会社　グリーン

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　https://www.coronasha.co.jp

ISBN 978-4-339-04694-6　C3053　Printed in Japan　（柏原）

JCOPY　＜出版者著作権管理機構 委託出版物＞
本書の無断複製は著作権法上での例外を除き禁じられています。複製される場合は，そのつど事前に，出版者著作権管理機構（電話 03-5244-5088，FAX 03-5244-5089，e-mail: info@jcopy.or.jp）の許諾を得てください。

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います。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いません。落丁・乱丁はお取替えいたします。