機械系コアテキストシリーズ E-2

機械設計工学

村上　存・柳澤 秀吉
共著

コロナ社

機械系コアテキストシリーズ
編集委員会

編集委員長

工学博士　金子 成彦（東京大学）

〔B：運動と振動分野 担当〕

編 集 委 員

博士（工学）　渋谷 陽二（大阪大学）

〔A：材料と構造分野 担当〕

博士（工学）　鹿園 直毅（東京大学）

〔C：エネルギーと流れ分野 担当〕

工学博士　大森 浩充（慶應義塾大学）

〔D：情報と計測・制御分野 担当〕

工学博士　村上 存（東京大学）

〔E：設計と生産・管理（設計）分野 担当〕

工学博士　新野 秀憲（東京工業大学）

〔E：設計と生産・管理（生産・管理）分野 担当〕

2017 年 3 月現在

刊行のことば

このたび，新たに機械系の教科書シリーズを刊行することになった。

シリーズ名称は，機械系の学生にとって必要不可欠な内容を含む標準的な大学の教科書作りを目指すとの編集方針を表現する意図で「機械系コアテキストシリーズ」とした。本シリーズの読者対象は我が国の大学の学部生レベルを想定しているが，高等専門学校における機械系の専門教育にも使用していただけるものとなっている。

機械工学は，技術立国を目指してきた明治から昭和初期にかけては力学を中心とした知識体系であったが，高度成長期以降は，コンピュータや情報にも範囲を広げた知識体系となった。その後，地球温暖化対策に代表される環境保全やサステイナビリティに関連する分野が加わることになった。

今日，機械工学には，個別領域における知識基盤の充実に加えて，個別領域をつなぎ，領域融合型イノベーションを生むことが強く求められている。本シリーズは，このような社会からの要請に応えられるような人材育成に資する企画である。

本シリーズは，以下の 5 分野で構成され，学部教育カリキュラムを構成している科目をほぼ網羅できるように刊行を予定している。

A：「材料と構造」分野

B：「運動と振動」分野

C：「エネルギーと流れ」分野

D：「情報と計測・制御」分野

E：「設計と生産・管理」分野

また，各教科書の構成内容および分量は，半期 2 単位，15 週間の 90 分授業を想定し，自己学習支援のための演習問題も各章に配置している。

工学分野の学問内容は，時代とともにつねに深化と拡大を遂げる。その深化と拡大する内容を，社会からの要請を反映しつつ高等教育機関において一定期間内で効率的に教授するには，周期的に教育項目の取捨選択と教育順序の再構成が必要であり，それを反映した教科書作りが必要である。そこで本シリーズでは，各巻の基本となる内容はしっかりと押さえたうえで，将来的な方向性も見据えることを執筆・編集方針とし，時代の流れを反映させるため，目下，教育・研究の第一線で活躍しておられる先生方を執筆者に選び，執筆をお願いしている。

「機械系コアテキストシリーズ」が，多くの機械系の学科で採用され，将来のものづくりやシステム開発にかかわる有為な人材育成に貢献できることを編集委員一同願っている。

2017 年 3 月

編集委員長　金子 成彦

まえがき

設計とは，運動と振動，材料と構造，エネルギーと流れ，情報と計測・制御など，さまざまな分野の技術や知見を総合し，人々の生活や社会に貢献する製品（モノ，コト）を創り出す知的行為である。したがって，実社会や産業界における設計は，工学や技術に加え，人々のニーズや市場，審美性，経済性，社会受容性など，さまざまな要因が総合されたものである。その中で，機械工学を学び始める大学の学部学生や高等専門学校の学生にとって必須な内容は何か，それをどう説明すればわかりやすいかを考えて，著者らが東京大学の学部2年生を対象に行ってきた機械設計の講義内容を再構成したものが本書である。

以上の観点から，本書は1～4章，10章，11章を村上，5～9章を柳澤が担当し，大きくつぎの五つの内容で構成した。

一つめは，これから学ぶ「設計」とは何かという導入的な内容で，1章がそれに当たる。工学における設計，機械の設計とは，何をどのように考える行為であるか，という観点から，機械の設計における，機能，挙動，構造の概念と，概念設計，実体設計，詳細設計という設計の過程について説明し，機械工学を学び始める学生にとっても理解容易な具体例を取り上げている。

二つめは，設計した機械を製造するための材料と加工法に関する内容であり，2章がこれに当たる。設計した機械が実現する機能は，部品にどのような形状や性質を持たせ，それをどのような構成で組み立てるかにより決定される。そして，部品にどのような形状や性質を持たせ，どのように組み立てられるかは，使用する材料や加工法により決定される。そのような観点から，機械の設計において考慮すべき，強度，剛性，硬さなどの材料の基本的な性質，代

表的な材料と加工法の種類や性質について説明している。

三つめは，代表的な機械要素の種類と，それに関する基本的な理論，使い方に関する内容であり，3～8章がこれに当たる。さまざまな機械において共通的に用いられる機能，挙動，構造の要素は，機械要素として用意されており，それをうまく活用することにより，優れた機械を効率的に低コストで設計，製作することができ，また経時変化や故障に対する交換部品の入手も容易で，メンテナンス性も向上する。そのような観点から，機械における最も基本的な機能の一つである運動，動力の伝達に関係する代表的な機械要素として，軸，軸受，歯車，キー，スプライン，セレーション，軸継手，ねじ，運動の変換，サーボモータの基本的な理論や使い方について説明している。

四つめは，製品を使用する人間について考慮して設計する考え方に関する内容であり，9章がこれに当たる。製品の設計において，使用する人間にとっての安全，わかりやすさ，使いやすさを考慮することは重要であり，それに関連する項目として，人間工学，ユーザビリティ，アフォーダンス，安全設計の指針について説明している。

五つめは，より優れた設計を行うための考え方に関する内容であり，10章，11章がこれに当たる。ここでは，故障することなく機能を確実に実行できる機械を設計するための「信頼性設計」，決められた条件の範囲内で最良の製品を設計するための「最適設計」，機械の製作における誤差や，温度，振動，荷重など使用条件の不確定要因を想定した上で最良の設計を行う「ロバスト設計」の基本について，学生にとっても理解容易な具体例を取り上げながら説明している。

本書が，機械工学を学び始める学生にとって，設計について興味を持ち，理解を深める一助となることを願っている。

末筆ながら，本書執筆の機会をいただいたコロナ社に，心から謝意を表する。

2019年12月

著者を代表して　村上　存

目　次

1章　設　計　と　は

1.1　設 計 の 内 容　2

1.2　設 計 の 過 程　3

1.3　設計の例：空き飲料容器選別システム　4

1.4　機械要素と規格　7

演　習　問　題　8

2章　設計と材料・加工法

2.1　機械設計において考慮する材料の性質　10

2.1.1　材料の機械的性質　10

2.1.2　材料の物理的性質　11

2.2　代表的な機械材料　12

2.2.1　金　属　材　料　14

2.2.2　非 金 属 材 料　17

2.2.3　特　殊　材　料　19

2.3　代表的な加工法　20

2.3.1　除　去　加　工　20

2.3.2　変　形　加　工　21

2.3.3　付　加　加　工　21

2.4　熱　処　理　22

2.5 ライフサイクル設計 23
演 習 問 題 24

3章 動力・運動の伝達 1：軸の設計

3.1 軸 の 種 類 26
3.2 軸 の 強 度 27
3.2.1 許容応力と安全率 27
3.2.2 軸に生じる応力 28
3.2.3 軸の強度設計 30
3.3 軸のねじり剛性 31
3.4 軸 の 座 屈 32
3.5 軸に関する規格 33
演 習 問 題 34

4章 動力・運動の伝達 2：軸受の設計

4.1 軸 受 の 種 類 36
4.1.1 自己潤滑軸受 37
4.1.2 流体潤滑軸受 37
4.1.3 磁 気 軸 受 37
4.1.4 滑り軸受と転がり軸受の比較 38
4.2 転がり軸受の種類 38
4.2.1 ラジアル軸受 39
4.2.2 スラスト軸受 41
4.2.3 転がり軸受の特性 42
4.3 転がり軸受の寿命 44
4.3.1 転がり疲れ寿命 44
4.3.2 耐 圧 痕 性 45
4.4 転がり軸受の潤滑 46

4.5　軸受とハウジングのはめあい　47
演　習　問　題　48

5章　動力・運動の伝達 3：歯車による伝達

5.1　動力伝達要素としての歯車　50
5.2　歯車の種類と用途　50
5.3　歯　の　並　び　52
5.4　インボリュート歯形　52
5.5　インボリュート歯形の創成　54
5.6　歯車の基本仕様　55
5.7　か み あ い 率　57
5.8　バックラッシ　58
5.9　歯 車 の 選 定　59
5.10　歯 車 の 材 質　60
5.11　遊星歯車減速機　60
演　習　問　題　63

6章　動力・運動の伝達 4：接続

6.1　軸と回転体の接続　65
6.1.1　圧　力　ば　め　65
6.1.2　止　め　ね　じ　66
6.1.3　キ　ー　66
6.2　キ ー の 種 類　66
6.3　キー溝の加工法と製図　71
6.4　スプラインとセレーション　71
6.5　軸と軸の接続　72
6.5.1　心ずれを極力抑えた設計　73
6.5.2　ある程度の心ずれを許容する設計　74

6.5.3 偏角を前提とした設計 75
演 習 問 題 76

7章 結 合

7.1 部品の結合とねじ 78
7.2 ねじの基本要素 78
7.2.1 リードとピッチ 78
7.2.2 ねじ山の形 79
7.3 ねじ部品の種類 81
7.3.1 六角ボルト，六角ナット 81
7.3.2 六角穴付きボルト 82
7.3.3 座 金 82
7.3.4 小 ね じ 83
7.4 ボルトによる締結 83
7.5 軸力と締結トルク 86
7.6 ねじの自立 88
7.7 ねじ効率 90
7.8 ボルトの締結トルク 90
7.9 締結の方法 92
7.10 ねじの強度 93
7.11 ねじの緩み止め 94
7.12 ねじの作り方 95
演 習 問 題 96

8章 機械システム設計

8.1 回転運動と直線運動の変換 98
8.2 回転機械の等価慣性モーメント 101
8.3 直動を含む等価慣性モーメント 102

8.3.1　ラックアンドピニオンの場合　103
8.3.2　送りねじを用いた搬送装置　103
8.4　動力源の仕様を決める　105
8.4.1　歯車減速機の場合　105
8.4.2　送りねじを用いた搬送機械の場合　106
8.5　サーボモータの選定　107
演　習　問　題　108

9章　人と機械の適合

9.1　人　間　工　学　111
9.2　ユーザビリティ　112
9.3　わかりやすい操作系のための設計指針　113
9.3.1　グルーピングと階層化　113
9.3.2　操作系の配置　114
9.3.3　アフォーダンス　115
9.4　安全に対する設計指針　116
9.4.1　フールプルーフ　116
9.4.2　フェールセーフ　117
9.4.3　インターロック　118
演　習　問　題　120

10章　信 頼 性 設 計

10.1　信　頼　性　122
10.2　信頼性特性値　123
10.2.1　信　頼　度　123
10.2.2　故障分布関数　123
10.2.3　故　障　率　124
10.2.4　故障までの平均動作時間　125

10.2.5 平均故障間動作時間 125
10.3 信頼性ブロック図 125
10.4 故 障 木 解 析 127
10.4.1 システムの信頼性の定性的評価 128
10.4.2 システムの信頼性の定量的評価 129
10.5 信頼性設計の方針 130
演 習 問 題 131

11章 最適設計・ロバスト設計

11.1 最 適 設 計 133
11.2 ロバスト設計 136
演 習 問 題 138

引用・参考文献 139
演習問題解答 143
索 引 149

1章 設計とは

◆本章のテーマ

「設計」は一般的に使われる言葉であるが，工学における設計，機械の設計とは，何をどのように考える行為であるか，を理解することは，直感的だけでなく系統的に優れた設計を行うために有効である。本章の目的は，機械の設計における，機械の機能，挙動，構造の概念と，概念設計，実体設計，詳細設計という設計の過程について理解し，それらを用いて優れた設計を系統的に行う方法を学ぶことである。

◆本章の構成（キーワード）

1.1 設計の内容

設計，機能，挙動，構造，要求される機能，有害な機能，副作用

1.2 設計の過程

概念設計，実体設計，基本設計，詳細設計

1.3 設計の例：空き飲料容器選別システム

見かけ比重，ふるい選別，風力選別，磁気選別，渦電流選別，光学選別

1.4 機械要素と規格

機械要素，日本産業規格，JIS，ANSI 規格，DIN 規格，国際標準化機構，ISO，国際規格

◆本章を学ぶと以下の内容をマスターできます

☞ 設計という行為の内容の理解

☞ 機械の機能，挙動，構造により系統的に設計を行う方法

☞ 概念設計，実体設計，詳細設計により系統的に設計を行う方法

1.1　設計の内容

設計（design）という言葉は，本書で中心的に扱われる「機械設計」以外に，「人生設計」などとも使われる。このような広義の「設計」は，例えば「目標を達成し，機能を果たすために，ものはいかにあるべきか，を考え決定すること」[1)] †などと表現できるだろう。そして，本書の対象である機械設計については，つぎに示す**機能**（function），**挙動**（behavior），**構造**（structure）の三つの要素に分けて問題を考えることが提案されている[2)]。

・機能：機械が，使用者の意図や目的に沿って果たす役割

・挙動：機能を実現するために利用できる現象

・構造：目的の挙動を生じる，ものの性質（形状，材質など）

例えば，部屋を掃除するために「ごみを取る」という機能は，ごみを吸い取る「空気の流れ」という挙動により実現することができ，そのような挙動を確実，効率的に生じるための構造として，いわゆる「掃除機」の構造を考えることができる（**図 1.1**）。この場合，「設計」は「達成したい機能を実現するための挙動を考案し，その挙動を生じる構造を考案，決定すること」と表現できる。

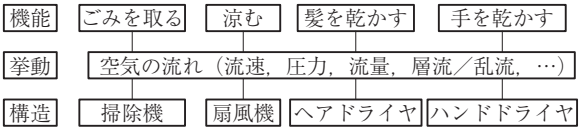

図 1.1　機能，挙動，構造の例

機械の設計における，機能，挙動，構造の関係には，つぎのような特徴がある。

・機能，挙動，構造の対応は一対一ではない。「空気の流れ」という挙動は，「涼む」，「髪を乾かす」，「手を乾かす」といった異なる機能も実現しうる

† 肩付き数字は巻末の引用・参考文献番号を表す。

(図 1.1)。また，「ごみを取る」という機能は，「空気の流れ」という挙動以外にも，例えば「粘着」という挙動で実現可能で，その挙動を生じる構造として「柄のついた粘着ローラー」などを考えることができる。

・一つの構造や挙動が，目的とする機能だけでなく，有害な機能（副作用）を生じる場合がある。例えば，鉄道のホームは雨天時などの水はけを良くするために，線路に向かってわずかな傾斜面となっている場合がある。それによって本来の目的である排水は促進されるが，傾斜により車椅子やベビーカーが転落する危険も生じており（**図 1.2**），駅のホームには注意喚起のための掲示がされている場合がある。

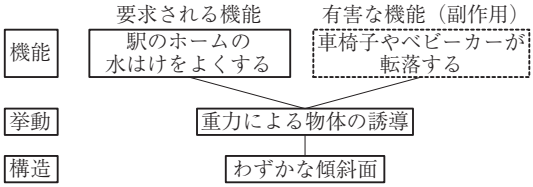

図 1.2 要求される機能と有害な機能

したがって設計においては，目的の機能を実現しうる複数の挙動，構造の中から，総合的に目的によく合致するだけでなく，有害な副作用は生じないか，生じても許容範囲内であるような解を選択する必要がある。

1.2 設 計 の 過 程

設計の過程は，検討し決定する内容により，つぎの 3 段階に分けて考えることが多い[3),4)]。

〔1〕 **概念設計**（conceptual design） 必要な機能を考え，それを実現するための挙動や構造について，適切な原理を探索し，それらを組み合わせて，理論的，技術的に実現可能な全体の大まかな構成を創案する。

〔2〕 **実体設計**（embodiment design）または**基本設計**（preliminary design）

概念設計の内容について，経済的現実性や，構造が実体として存在可能であることを確認するため，基本的な仕様，形態やレイアウトなどを決定する。

〔3〕 **詳細設計**（detail design）　実体設計の内容について，個々の部品の寸法，材質など，製作に必要な情報すべてを決定し，図面や生産に必要な文書として記述する。

1.3　設計の例：空き飲料容器選別システム

ここで具体例として，混在して回収された4種類の空き飲料容器（スチール缶，アルミニウム缶，ガラス瓶，**PET**（polyethylene terephthalate）ボトル）を，自動的に選別するシステムを設計する問題を考える。4種類の空き飲料容器の形状と大きさはほぼ同じであるとし，それらは飲料容器の形態のまま搬入され，選別の過程で破砕されず，元の形態のまま搬出されるものとする（**図1.3**）。

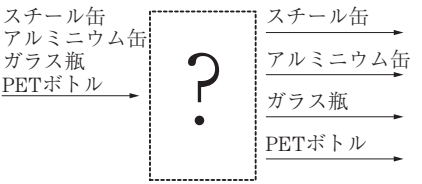

図1.3　空き飲料容器選別システム

表1.1　飲料容器のデータ

容器（350 ml）	容器の質量	容器の見かけ比重	主材料の比重
スチール缶	約 30 g*	約 0.086	7.9
アルミニウム缶	約 20 g*	約 0.057	2.7
ガラス瓶	約 300 g**	約 0.86	2.5
PET ボトル	約 25 g***	約 0.071	1.4

〔注〕 * 日本鉄鋼連盟（http://www.jisf.or.jp/）
** 日本ガラスびん協会（http://glassbottle.org/）
*** PET ボトルリサイクル推進協議会（http://www.petbottle-rec.gr.jp/）（URL は 2019 年 11 月現在）

飲料のスチール缶，アルミニウム缶，ガラス瓶，PET ボトルの容器の質量，容器の見かけ比重（容器の質量を，容器内部の空間を含めた容器全体の体積で除した値），主材料の比重を**表 1.1** に示す。また，この設計問題を考える上で参考となる，実際の廃棄物処理，再資源化におけるおもな選別の方法を**表 1.2** に示す。表 1.1 の値から，例えば水に浮くか沈むかで選別する方法は，内部に水が入らない状態では容器の見かけ比重からすべて浮かび，内部が水で満ちた状態では主材料の比重からすべて沈むので，無効であることがわかる。

表 1.2　おもな選別の方法 [5),6)]

選別方法	利用する性質	説　　明
ふるい選別	粒子径	網やフィルタの開口より小さい物体のみが通過することを利用する。
風力選別	見かけの比重	送風により見かけの比重が小さいものほど遠くに飛ばされることを利用する。
磁気選別	磁性	磁性を有する材料が磁気的に吸引されることを利用する。
渦電流選別	導電性	時間変化する磁界中に置かれた良導体中に発生する渦電流が，変化磁界に反発する方向の磁界を生じ，良導体は変化磁界から反発力を受け運動することを利用する。
光学選別	色，反射率，透過率など	光を当て，その反射や透過の有無，色の成分を光学的に計測し利用する。

概念設計の過程で，考えつく可能性のある選別方法と，その方法の問題点の例を，以下に示す。

・選別方法：飲料容器に電極を当て，通電すればスチール缶かアルミニウム缶，しなければガラス瓶か PET ボトルであると選別する。
・問題点：スチール缶やアルミニウム缶の表面にプリントがされていた場合，そのプリントは通電するかどうか。

・選別方法：飲料容器に光を当て，透過すればガラス瓶か PET ボトル，しなければスチール缶かアルミニウム缶であると選別する。

索　　引

【あ】

アイテム
item 122

アキシアル荷重
axial load 36

圧力角
pressure angle 56

圧力ばめ
force fit 65

アフォーダンス
affordance 115

アルミニウム
aluminium 16

アンギュラ玉軸受
angular contact ball bearing 39

安全率
safety factor 27

【い】

一条ねじ
single thread 79

インターロック
interlock 118

インボリュート曲線
involute curve 53

インボリュート歯形
involute tooth profile 52

【う】

ウォームギヤ
worm gear 51

【え】

エッチング
etching 21

円すいころ軸受
tapered roller bearing 41

延　性
ductility 14

円筒ころ軸受
cylindrical roller bearing 41

【お】

オイラーの座屈荷重
Euler's bucking load 32

【か】

概念設計
conceptual design 3

外　輪
outer ring 38

硬　さ
hardness 11

かみあい率
transverse contact ratio 57

ガラス
glass 18

【き】

キ　ー
key 66

機械要素
machine element 7

基準強さ
reference strength 27

気体軸受
gas bearing 37

軌　道
raceway 44

機　能
function 2

機能性材料
functional material 19

基本静定格荷重
basic static load rating 45

基本設計
preliminary design 3

基本定格寿命
basic rating life 44

基本動定格荷重
basic dynamic load rating 44

キー溝
key way 66

強化材
reinforcing element 19

強　度
strength 10

挙　動
behavior 2

許容応力
allowable stress 27

切下げ
natural undercut 56

【く】

偶発故障期間
random failure period 124

グリース
grease 47

【け】

形状記憶効果
shape memory effect 19

形状記憶合金
shape memory alloy 19

研削加工
grinding 20

【こ】

工　具
cutting tool 20

高周波焼入れ
induction hardening 23

剛　性
stiffness 10

構　造
structure 2
構造材料
structural material 19
降伏点
yield point 10
効　率
effectiveness 112
国際標準化機構
International Organization for Standardization, ISO 8
故　障
failure 122
故障分布関数
failure distribution function 123
故障木
fault tree 128
故障木解析
fault tree analysis, FTA 127
故障までの平均動作時間
mean operating time to failure, MTTF 125
故障率
failure rate 124
コストパフォーマンス
cost performance 135
固定軸継手
fixed shaft coupling 73
こ　ろ
roller 36
転がり軸受
rolling bearing 36

【さ】

最小カットセット
minimal cut set 128
最適設計
optimal design 133
座　金
washer 82
サーボモータ
servomotor 107
三条ねじ
three thread screw 79

【し】

磁気軸受
magnetic bearing 37
軸
shaft 26
軸　受
bearing 8, 36
自己潤滑軸受
self lubricating bearing 37
シザーズギヤ
scissors gear 58
事実上の標準
de-facto standard 120
事象木
event tree 128
指数分布
exponential destribution 125
実体設計
embodiment design 3
自動調心ころ軸受
self-aligning roller bearing 41
自動調心玉軸受
self-aligning ball bearing 39
シートの接着
sheet lamination 22
締付け線図
joint diagram 85
車　軸
axle 26
射出成形
injection molding 21
修理アイテム
repairable item 122
使　用
use 112
シャルピー衝撃値
Charpy impact value 11
焼　結
sintering 21
詳細設計
detail design 4
蒸　着
vapor deposition 22
冗　長
redundancy 126
常用冗長
active redundancy 126
初期故障期間
early failure period 124
除去加工
removal process 20
針状ころ軸受
needle roller bearing 41
心ずれ
misalignment,off center 72
靱　性
toughness 11
浸　炭
carburizing 23
信頼性
reliability 122
信頼性設計
reliability design 122
信頼性特性値
reliability characteristics 123
信頼性ブロック図
reliability block diagram 125
信頼度
reliability 123

【す】

すぐば歯車
spur gear 52
スター型
star type 61
ステンレス
stainless 15
スプライン
spline 71
滑り軸受
plain bearing 36

スラスト円筒ころ軸受
thrust cylindrical roller bearing 41
スラスト荷重
thrust load 36
スラスト軸受
thrust bearing 36
スラスト自動調心ころ軸受
self-aligning thrust roller bearing 42
スラスト玉軸受
thrust ball bearing 41

【せ】

静アキシアル荷重係数
static axial load factor 46
生体適合性
biocompatibility 12
静等価荷重
static equivalent load 46
静ラジアル荷重係数
static radial load factor 46
積層造形
layered manufacturing 22
設　計
design 2
切削加工
cutting 20
接触角
contact angle 39
折　損
breakage 60
セラミックス
ceramics 18
セレーション
serration 71
繊維強化プラスチック
fiber reinforced plastics, FRP 19
全ねじ
full screw 82
線膨張係数
coefficient of linear thermal expansion 11

【そ】

ソーラ型
solar type 61

【た】

待機冗長
stand-by redundancy 127
耐食性
corrosion resistance 12
ダイス
die 21
多数決冗長
voting redundancy 127
縦弾性係数
modulus of longitudinal elasticity 10
玉
ball 36
たわみ軸
flexible shaft 27
たわみ軸継手
flexible shaft coupling 74
鍛　造
forging 21
炭素繊維強化プラスチック
carbon fiber reinforced plastics, CFRP 19

【ち】

チャンク
chunk 113
鋳　造
casting 15, 21
直列系
series system 126

【て】

鉄
ferrum 15
転　位
profile shift 56
電気抵抗率
electrical resistivity 12
展　性
malleability 14
転　造
form rolling 95
転造ダイス
rolling dies 95
伝動軸
transmission shaft 26
転動体
rolling element 36

【と】

ドイツ規格協会
Deutsches Institut fur Normung, DIN 8
銅
copper 16
動アキシアル荷重係数
dynamic axial load factor 45
等価慣性モーメント
equivalent inertia moment 102
導電性
electrical conductivity 12
動等価荷重
dynamic equivalent load 44
動ラジアル荷重係数
dynamic radial load factor 45
止めねじ
setscrew 66

【な】

内外比
load factor 85
内　輪
inner ring 38
ナット
nut 8

【に】

二条ねじ
double thread 79

日本産業規格
Japanese Industrial Standards, JIS 8

【ね】

ねじ
screw
——の自立
self-locking 88
——の緩み
loose screws 94
ねじ効率
screw efficiency 90
ねじ部品
screw parts 81
ねじ山角
angle of thread 79
ねじ山の形
thread shape 79
ねじり剛性
torsional stiffness 31
熱処理
heat treatment 22
熱伝導
thermal conduction 11
熱伝導率
thermal conductivity 12
熱膨張
thermal expansion 11

【の】

能　力
ability 112
ノーバックラッシギヤ
no-backlash gear 58

【は】

ハイポイド歯車
hypoid gear 51
歯　形
tooth profile 52
バスタブ曲線
bathtub curve 124
はすば歯車
helical gear 52
バックラッシ
backlash 58

【ひ】

光硬化
stereolithography 22
引抜き
drawing 21
比強度
specific strength 11
非修理アイテム
non-repaired item 122
ビッカース硬さ
Vickers hardness 11
ピッチ
pitch 79
ピッチ円
pitch circle 55
ピッチ円直径
pitch diameter 55
ピッチング
pitching 60
引張強さ
tensile strength 10
ピニオン
pinion 51

【ふ】

フェールセーフ
fail safe 117
付加加工
joining process 20
深溝玉軸受
deep groove ball bearing 39
不完全ねじ部
incomplete thread 81
複合材料
composite material 19
不信頼度
unreliability 123
プラネタリ型
planetary type 61
ブリネル硬さ
Brinell hardness 11
フールプルーフ
fool-proof 116
フレーキング
flaking 44
プロペラ軸
propeller shaft 26

【へ】

平均故障間動作時間
mean operating time between failures, MTBF 125
米国国家規格協会
American National Standards Institute, ANSI 8
並列系
parallel system 126
変形加工
deformation process 20

【ほ】

母　材
composite matrix 19
保持器
retainer 38
ポリテトラフルオロエチレン
polytetrafluoroethylene, PTFE 37
ボルト
bolt 8

【ま】

摩擦角
friction angle, angle of friction 88
摩耗故障期間
wear-out failure period 124
満　足
satisfaction 112

【み】

密　度
density 11

【め】

めっき
plating 22

【も】

モジュール
module 55

【や】

焼入れ
quenching 22

焼なまし
annealing 23

焼きばめ
shrink fit, shrinkage fit 65

焼戻し
tempering 23

やまば歯車
double-helical gear 52

ヤング率
Young's modulus 11

【ゆ】

有効さ
effectiveness 112

有効断面積
tensile stress area 93

融　点
melting point 11

ユーザビリティ
usability 112

ユニバーサルジョイント
universal joint 75

【よ】

溶　接
welding 21

溶融物の堆積
fused deposition 22

【ら】

ライフサイクル設計
life cycle design 24

ラジアル荷重
radial load 36

ラジアル軸受
radial bearing 36

ラック
rack 51

ラックアンドピニオン
rack and pinion 51

【り】

リサイクル
recycle 24

離散変数
discrete variable 133

リデュース
reduce 24

リード
lead 78

リード角
lead angle 79

リベット
rivet 78

流体潤滑軸受
fluid lubricating bearing 37

リユース
reuse 24

【れ】

レーザ加工
laser beam machining 20

レーザ焼結
selective laser sintering 22

レジスト
resist 21

連続変数
continuous variable 133

【ろ】

六角穴付き止めねじ
hexagon socket head screw 83

ロバスト性
robustness 136

ロバスト設計
robust design 136

論理木
logic tree 128

【わ】

ワイヤ放電加工
electric discharge machining 20

【C】

CAD
computer-aided design 7

【M】

m-out-of-*n* 冗長
m-out-of-*n* redundancy 127

【P】

PET
polyethylene terephthalate 4

―― 著 者 略 歴 ――

村上　存（むらかみ　たもつ）
1984 年　東京大学工学部機械工学科卒業
1986 年　東京大学大学院工学系研究科修士課程修了（機械工学専攻）
1989 年　東京大学大学院工学系研究科博士課程修了（産業機械工学専攻）工学博士
1989 年～ 91 年　東京大学助手
1990 年　東京大学講師
1993 年　東京大学助教授
1995 年　東京大学大学院助教授
2006 年　東京大学大学院教授
現在に至る

柳澤　秀吉（やなぎさわ　ひでよし）
2000 年　東京都立科学技術大学工学部生産情報システム工学科卒業
2002 年　米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校国費留学
2004 年　東京都立科学技術大学大学院博士課程修了（インテリジェントシステム専攻）博士（工学）
2004 年～ 17 年　米国カリフォルニア大学ロサンゼルス校客員研究員
2004 年　東京大学大学院助手
2007 年　東京大学大学院助教
2008 年　東京大学大学院講師
2014 年　東京大学大学院准教授
2016 年～ 17 年　仏国パリ国立高等工芸学校客員教授（併任）
2017 年　オランダ王国デルフト工科大学客員フェロー
現在に至る

機械設計工学

Mechanical Design Engineering

© Tamotsu Murakami, Hideyoshi Yanagisawa 2020

2020 年 2 月 28 日　初版第 1 刷発行

検印省略

著　者　村　上　存
柳　澤　秀　吉
発 行 者　株式会社　コ ロ ナ 社
代 表 者　牛 来 真 也
印 刷 所　新 日 本 印 刷 株 式 会 社
製 本 所　有限会社　愛 千 製 本 所

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 978-4-339-04540-6　C3353　Printed in Japan　（横尾）

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。