



# 機 械 設 計

機械の要素と  
システムの設計

第2版

# Mechanical Design

Machine Elements  
and Mechanical Systems

吉本成香  
下田博一  
野口昭治  
岩附信行  
清水茂夫

共著

  
Ohmsha

〔執筆担当〕

吉本成香	1章
	3章 3・1～3・2
	5章 5・3～5・4
	6章 6・1～6・2・12
下田博一	4章
	6章 6・4
野口昭治	3章 3・3～3・4
	5章 5・1～5・2
	9章
岩附信行	6章 6・2・13～6・3
	7章
	8章
清水茂夫	2章
	5章 5・5

---

---

本書を発行するにあたって、内容に誤りのないようできる限りの注意を払いましたが、本書の内容を適用した結果生じたこと、また、適用できなかった結果について、著者、出版社とも一切の責任を負いませんのでご了承ください。

---

---

本書に掲載されている会社名・製品名は一般に各社の登録商標または商標です。

---

---

本書は、「著作権法」によって、著作権等の権利が保護されている著作物です。本書の複製権・翻訳権・上映権・譲渡権・公衆送信権（送信可能化権を含む）は著作権者が保有しています。本書の全部または一部につき、無断で転載、複写複製、電子的装置への入力等とされると、著作権等の権利侵害となる場合があります。また、代行業者等の第三者によるスキャンやデジタル化は、たとえ個人や家庭内での利用であっても著作権法上認められておりませんので、ご注意ください。

本書の無断複写は、著作権法上の制限事項を除き、禁じられています。本書の複写複製を希望される場合は、そのつど事前に下記へ連絡して許諾を得てください。

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）

---

## はしがき

---

### preface

本書は、機械工学を専攻する大学生等を対象に、教育の成果が社会に出てからも生かされることを目的として企画された機械設計の教科書である。

機械工学科の学生にとって機械を設計する能力は、欠くことができない必要な能力であるが、機械を設計するためには、機械をつくる基礎となる機械要素について十分な知識を身につけておく必要がある。そのため、本書は、基本的な機械要素として、ねじ、軸、軸受などを取り上げ、その初歩から高度な設計法まで、例題を織り込むことで順を追って容易に理解できるよう編集されている。

また、最近の機械では欠くことのできない要素であるボールねじやリニアガイド、さらには、機械技術者にその選定が任ざれることが多くなっている電動機など、これまでの機械設計の教科書にはあまり取り上げられることがなかった要素についても、基本的な解説を加え、最近の機械設計の状況に対応できるようにした。これらの要素は機械システムを設計する上で重要であって、本書の特徴の一つになっている。

最後の9章では、1～8章までの知識をもとに、機械システム設計の基本的な練習問題として、一軸の位置決めテーブルの設計を取り上げた。これは本書の最大の特徴で、この章の内容を理解することによって、意図する機械システムを設計するために、種々の機械要素の中からどのようなものを選び、また組み合わせればよいかを系統的に理解でき、実際への応用力も高められると考える。

本書は、その構成から、1～8章を1年間で履修したあと、9章の機械システム設計をさらに半年かけて履修するというような使い方もできるであろう。また、本書は大学の教科書であるが、企業などでの社内教育の教材として利用されることもよいと思われる。

終わりに、当出版の発端は、東京工業大学名誉教授である故阿武芳朗先生と私との共同企画であった。阿武先生が刊行前に急逝されたことは残念であるが、ご執筆いただいた岩附、清水、下田、野口の各先生のご尽力に感謝を申し上げたい。なお、本書の執筆にあたっては種々の文献などを参考にさせていただいた。これらの著者の方々にもお礼を申し上げたい。

2006年4月

吉本 成香

## 第2版の刊行にあたって

本書は2006年に発刊されて以来、本年度で12刷目の増刷となった。この間、機械技術においては様々な展開があり、2006年当時では実用化に至るとは考えられていなかった製品も、実際に作られ使用されるようになってきた。これに伴い、機械設計における基本的な機械要素の使用状況も変化してきており、本書の内容も部分的に時代に即した記述に変更する必要性が出てきた。

したがって第2版では、多様な機械システムの設計に資するために、不等速運動機構としてリンク機構・カム機構について、動的挙動まで考慮した記述を加えることとした。また歯車強度計算では、歯車の選定を容易にするために、ISOに準拠したJGMAの簡易計算法について記載した。JIS規格については、公差、ねじ、転がり軸受など、最近改定された規格について内容を変更した。

本書が、機械設計を専攻する学生や、設計を専門とする技術者の方々の役に立てれば、幸いと思う。

2017年11月

吉本 成香

# 目次

contents

<b>1 章</b>	<b>機械設計の基礎</b> fundamentals of mechanical engineering design	
1-1	機械と機械設計	001
1-2	製品開発の流れ	002
1-3	機械要素設計の意義	003
1-4	機械安全 (機械類の安全性)	005
1-5	標準化と設計	008
1-5-1	日本産業規格	008
1-5-2	標準数	008
1-5-3	機械製図の意義と規格	010
1-6	機械部品の精度	011
1-6-1	部品の寸法精度	011
1-6-2	サイズ公差とはめあい	011
1-6-3	幾何公差	017
1-6-4	最大実体公差	020
1-6-5	表面性状	022
<b>2 章</b>	<b>機械材料と強度および安全率</b> mechanical materials, strength and safety factor	
2-1	機械材料選択の手順と指針	027
2-2	代表的な機械材料の種類と適用例	029
2-3	材料の機械的性質	029

2・3・1	応力-ひずみ線図	029
2・3・2	鋼の強度とばらつき	031
2・4	部品に作用する荷重と破損	033
2・4・1	荷重の種類	033
2・4・2	応力集中係数と切欠き係数	034
2・4・3	クリープ	036
2・4・4	疲れ	037
2・5	材料の破損とその諸説	039
2・6	腐食	041
2・7	安全率と許容応力	042
	〔例題 2・1〕	046
	〔例題 2・2〕	047
	練習問題	048

### 3章 | 締結・接合要素 screws, fasteners and joints

3・1	結合法	049
3・2	ねじ	050
3・2・1	ねじの基本用語	050
3・2・2	ねじ山の種類	052
3・2・3	ねじの表し方	055
3・2・4	ねじ部品	055
3・2・5	ねじの力学	065
3・2・6	ねじの締付け	067
	〔例題 3・1〕	068
	〔例題 3・2〕	070
	〔例題 3・3〕	071
3・2・7	ねじ山の強度	071
3・2・8	ねじ締結材の設計法	073
	〔例題 3・4〕	078
	〔例題 3・5〕	079

3・2・9	ねじ部品の疲れ 080	
	〔例題 3・6〕	082
3・2・10	ねじのゆるみ止め対策 82	
3・3	ピン	083
3・4	リベット継手	084
3・4・1	リベット継手のあらまし 084	
3・4・2	リベット継手の強度 085	
	〔例題 3・7〕	088
	練習問題	088

## 4 章 | 軸系要素

shafts and associated parts

4・1	軸	091
4・1・1	軸の種類および軸材料 091	
4・1・2	軸径の選定 093	
4・1・3	ねじりモーメントが作用する軸 093	
	〔例題 4・1〕	094
4・1・4	曲げモーメントが作用する軸 096	
4・1・5	ねじりモーメントと曲げモーメントが同時に作用する軸 097	
	〔例題 4・2〕	099
4・1・6	軸力が付加される場合 100	
	〔例題 4・3〕	101
4・1・7	段付き軸における応力集中の影響 103	
4・1・8	軸の剛性 103	
	〔例題 4・4〕	105
	〔例題 4・5〕	105
4・1・9	回転軸の危険速度 107	
	〔例題 4・6〕	110
4・2	キーとスプライン, セレージョン	112
4・2・1	キーの種類 112	
4・2・2	キーの選定とキー溝をもつ軸の強さ 114	

〔例題 4・7〕 .....	115
4・2・3 スプラインとセレーション	116
4・2・4 摩擦継手	117
4・3 軸継手 .....	118
4・3・1 軸継手の選定	119
4・3・2 軸継手の種類	120
4・3・3 サーボ機構用たわみ軸継手の特性	123
4・4 クラッチ .....	125
4・4・1 クラッチとブレーキ	125
4・4・2 クラッチの種類	125
練習問題 .....	128

## 5 章 | 軸受・案内要素 bearings and linear guides

5・1 軸受の種類と特徴 .....	131
5・2 転がり軸受 .....	132
5・2・1 転がり軸受の種類と構造	133
5・2・2 転がり軸受の精度	136
5・2・3 転がり軸受の材料	138
5・2・4 転がり軸受の配列	139
5・2・5 転がり軸受の疲れ寿命	139
〔例題 5・1〕 .....	144
〔例題 5・2〕 .....	146
〔例題 5・3〕 .....	150
5・2・6 転がり軸受の許容回転数	152
5・2・7 転がり軸受における予圧の効果	153
5・2・8 転がり軸受のはめあい	154
5・2・9 転がり軸受の潤滑法	154
5・3 すべり軸受 .....	158
5・3・1 すべり軸受の潤滑状態	158
5・3・2 すべり軸受の種類と材料	159

5・3・3	すべり軸受の設計パラメータ	164
5・3・4	すべり軸受の消費動力 (ペトロフの法則)	167
	[例題 5・4]	169
5・4	流体潤滑理論	169
5・4・1	流体潤滑理論と基礎方程式	169
5・4・2	傾斜平面軸受の軸受特性	172
	[例題 5・5]	174
5・4・3	ジャーナル軸受の軸受特性	175
	[例題 5・6]	177
5・4・4	静圧軸受の基本構造	178
5・4・5	静圧軸受の負荷容量	179
	[例題 5・7]	180
5・4・6	流体潤滑軸受の応用例	181
5・5	リニア軸受	182
5・5・1	スリーブ形リニア玉軸受 (直動玉軸受)	182
5・5・2	ガイド ウェイ形リニア軸受	184
5・5・3	定格寿命 $L_{10}$	186
	練習問題	188

## 6 章 | 動力伝達要素 machine elements for power transmission

6・1	動力伝達要素の種類	193
6・2	歯車	195
6・2・1	歯車の種類	196
6・2・2	歯形	196
6・2・3	インボリュート関数とインボリュート歯車	197
	[例題 6・1]	198
6・2・4	歯車記号, 用語と計算式	199
6・2・5	平歯車のかみあい率	202
	[例題 6・2]	204
6・2・6	バックラッシ	204

6・2・7	かみあい圧力角	206
[例題 6・3]	.....	208
6・2・8	標準歯車の切下げ	209
6・2・9	転位歯車とのかみあい圧力角	210
6・2・10	転位歯車の切下げ限界における歯数と転位係数	212
[例題 6・4]	.....	213
6・2・11	平歯車の強度	214
[例題 6・5]	.....	221
6・2・12	はすば歯車	222
6・2・13	遊星歯車機構とその派生機構	224
6・3	巻掛け伝動	227
6・3・1	巻掛け伝動の種類と特徴	227
6・3・2	歯付きベルトの伝達パワー	230
[例題 6・6]	.....	233
6・4	ボールねじ	235
6・4・1	ボールねじの構造と材料	235
6・4・2	摩擦と機械効率	237
[例題 6・7]	.....	240
6・4・3	ボールねじの変形量と予圧	241
6・4・4	ボールねじの耐久性	243
6・4・5	支持条件と危険速度	244
練習問題	.....	245

## 7章

## 不等速運動機構

non-uniform speed mechanisms

7・1	不等速運動機構の活用	249
7・2	平面リンク機構	250
7・2・1	平面リンク機構の運動解析	250
7・2・2	平面リンク機構の総合	256
7・2・3	平面リンク機構の動力学解析	258
7・3	板カム機構	262

7・3・1	ローラ端揺動従節板カム機構とカム曲線	262
7・3・2	ローラ端揺動従節板カム機構の輪郭曲線の計算	265
7・3・3	ローラ端揺動従節板カム機構の設計例	266
	練習問題	268
<b>8章</b>	<b>アクチュエータ</b> actuators	
8・1	アクチュエータの種類と性質	269
8・1・1	従来のアクチュエータ	269
8・1・2	機能材料アクチュエータ	273
8・2	電動モータ	275
8・2・1	直流モータ	275
8・2・2	交流モータ	279
8・2・3	ステッピングモータ	283
8・3	電動モータと減速機の選定	284
	〔例題8・1〕	286
	練習問題	288
<b>9章</b>	<b>機械システムの設計</b> mechanical system design	
9・1	設計課題：一軸送りテーブル	289
9・2	ボールガイドの選定	290
9・2・1	形式・サイズの仮選定	291
9・2・2	寿命の計算	292
9・2・3	予圧と精度の選定	293
9・2・4	潤滑・防塵	293
	設計例題1 ボールガイドの選定	294
9・3	ボールねじの選定	300
9・3・1	基本諸元	300
9・3・2	基本性能のチェック	302

<b>9・3・3</b> 要求機能チェック	303
設計例題 2 ボールねじの選定	304
<b>9・4</b> ボールねじサポート軸受の選定	309
設計例題 3 ボールねじサポート軸受の選定	309
<b>9・5</b> 軸継手の選定	310
<b>9・5・1</b> 常用トルクによる選定	310
<b>9・5・2</b> 最大トルクによる選定	311
<b>9・5・3</b> 軸穴径による選定	311
<b>9・5・4</b> ねじり振動の検討	311
<b>9・6</b> 駆動アクチュエータの選定	312
<b>9・6・1</b> 等価慣性モーメントの算出	312
<b>9・6・2</b> モータトルクの算出	313
<b>9・6・3</b> モータの選定方法	314
設計例題 4 駆動アクチュエータと軸継手の選定	315
練習問題解答	319
引用および参考文献	341
索引	345