

改訂
臨床工学技士のための
機 械 工 学

博士（工学）西村 生哉 著

コ ロ ナ 社

改訂版にあたって

本書初版は、幸いなことに多くの学生に好意的に受け入れられた。しかし自分自身、初版を使って学生に講義をしているうちに、この部分は説明が冗長だな、とか、ここは説明不足だな、などと思うことが多くなってきた。そこで全面的な改訂版の作成を行うこととした。

大きな改訂部分は二つある。まず初版にはなかった「0章 基礎知識」を追加した。ここでは単位の話や大きな（小さな）数の表し方、三角関数、微分など、機械工学（というより工学系科目全般）で必要となる基礎知識をまとめた。初版では必要に応じて各単元にバラバラに説明していた内容を、一か所にまとめたわけである。

もう一つは10章の内容をまったく変更した。初版では「10章 その他」で、あまり試験に出ない内容であったが、改訂版では「10章 光・電磁波・放射線」とした。光・電磁波・放射線が機械工学かといわれれば微妙なところであるが、これらは試験に出るにもかかわらず対応する講義が曖昧だったからである。

これらの変更を受けて各章の説明もブラッシュアップして、よりわかりやすくするように努めた。そして初版からの方針である「あくまでME2種試験と国家試験の問題にフォーカスする」という点は堅持した。初版と改訂版の同じ単元を見比べて、なくなった部分はあまり試験に出ない内容、新しく追加された部分はここ数年で試験に登場した内容である。

付録のME2種・国家試験過去問解答集の解答・解説も見直しを行い、よりわかりやすい説明に改めた。本書発刊後のME2種・国家試験問題に関しては従来どおりコロナ社のWebページの本書の書籍紹介 (<https://www.coronasha.co.jp/np/isbn/9784339072778/>) に掲載する予定である。

ii 改訂版にあたって

本書で勉強して過去問をやりこめば、ME 2種・国家試験に対応できる力は十分に養われるはずである。本書がME 2種・国家試験合格の一助になれば幸いである。

2022年7月

西村 生哉

初版のまえがき

本書のタイトルは「臨床工学技士のための機械工学」であるが、内容的には「臨床工学技士（を目指す人）のための機械工学」である。多くの場合、臨床工学技士国家試験（以下、国家試験とする）を受験する人は、その前段階として第2種 ME 技術実力検定試験（以下、ME 2種とする）も受験する。本書は、この二つの試験に徹底的に焦点を当て、試験に出る機械工学分野の問題を解くために特化した内容となっている。

本書で扱った分野は「質点の運動」、「材料力学」、「熱力学」、「流体力学」などであるが、本来これらは、それぞれ単体で1冊の本が書け、15～30回の講義時間を要する内容である。それらを1冊にまとめて15回の講義で消化できるようにするとすると、当然、おのおの分野の説明は中途半端なものにならざるを得ない。どこを削ってどこを残すか。その基準を“機械工学にとって重要な内容”や“臨床工学技士として身につけておくべき機械工学分野”ではなく、“ME 2種と国家試験に出る機械工学分野”に求めた（これらは必ずしもイコールではない）。そのため、類書にありがちな「医療現場における機械工学の役割」（たいてい1章あたりに置かれている）といった啓蒙的もうな内容は一切省いた。

このような姿勢は、学術分野の諸先生方からお叱りしかを受けるものであるかもしれない。しかし、臨床工学技士を目指して機械工学以外にも多くの分野を勉強しなければならない受験生諸君にとっては歓迎されるものであるはずだと考えるし、本書を書こうと思った動機も、機械工学（もっと広くいえば理系）を専門としない人が読んでもわかりやすく有意義な解説書を作りたいと考えたからである。

このような本書の性格を象徴するものが、本書の半分を占める付録（ME 2

種と国家試験の過去問題と解答・解説)である。過去10年以上の問題から機械工学分野の設問を抜粋し、詳しい解説を加えた。ME2種、国家試験の問題は(少なくとも機械工学分野においては)パターン化している。要するに、同じような問題が数年おきに繰り返し出題されるわけである(それは別に悪いことではない)。また、ME2種、国家試験は選択形式の出題であり、選択形式ならではの解答テクニックというものもある。しかし、通常の教科書は「教科書」であるがゆえにそういうことについて解説されているものはほとんどないように思う。どの分野でもそうだが、きれいにまとまった教科書的内容と^{どろ}泥臭い現場での常識は必ずしも一致しないことが多い。教科書と試験問題の間でも同じことがいえる。本書の付録はそのギャップを埋めるべく作成した。

上で述べたように試験問題にはパターンがあり、したがって過去問題をやり込んでコツをつかめばある程度の得点を期待できる。臨床工学技士を目指す理系学生にとっては、本書の本文解説は甘すぎると思うかもしれないが、そういう学生にとっても、この過去問題の解答・解説は試験突破の糸口になるはずである。過去問題を解いてみて「またこの手の問題か、ワンパターンだな」と感じたら、勝ったも同然である。なお、本書発刊後のME2種、国家試験に関しては、コロナ社のWebページ(<http://www.coronasha.co.jp/>)の本書の書籍紹介に掲載する予定である。本書と合わせて活用していただきたい。

本書は臨床工学技士を養成する大学・専門学校などの教科書として使用されることを想定しているが、独学で勉強する学生にとっても十分に利用できるように配慮したつもりである。本書がME2種、国家試験の合格の一助になれば幸いである。

2012年11月

西村 生哉

目 次

0. 基礎知識

0.1 単 位	1
0.1.1 基本単位	1
0.1.2 組立単位	1
0.2 指 数	2
0.3 SI 接 頭 辞	3
0.4 三 角 関 数	4
0.5 ラ ジ ア ン	5
0.6 微 分	6

1. 力

1.1 力 と は	9
1.1.1 力 の 定 義	9
1.1.2 重 力 加 速 度	11
1.2 合 力 と 分 力	11
・ 斜面上の物体に働く力	14
1.3 力 の モーメント	15

2. 材 料 力 学

2.1 応力とひずみ	18
2.1.1 材 料 の 変 形	18
2.1.2 応 力	19
2.1.3 ひ ず み	20
2.1.4 フックの法則とヤング率	21
2.2 ポアソン比	23
2.3 応力-ひずみ曲線	24

2.4	体積弾性率	26
2.5	応力集中	27
2.6	安全率	28

3. 粘 弾 性

3.1	粘性の定義	30
3.2	ニュートン流体と非ニュートン流体	33
3.3	血液の粘性的性質	33
3.4	固体の粘性	34

4. 力 と 運 動

4.1	落下運動	37
4.2	等速円運動	39
4.3	バネの振動	40
4.3.1	バネ定数	40
4.3.2	バネの振動	41
4.3.3	振動における速度と加速度	44
4.4	摩擦のある面上での運動	45
4.5	浮力	47

5. エ ネ ル ギ ー

5.1	仕事（エネルギー）の定義	50
5.2	運動エネルギーと位置エネルギー	52
5.2.1	運動エネルギー	52
5.2.2	位置エネルギー	52
5.3	エネルギー保存の法則	53
5.4	仕事率	54

6. 熱

6.1	温度	57
-----	----	----

6.2 比熱	58
6.3 熱エネルギー	58
6.4 熱の移動	59
6.4.1 熱伝導	59
6.4.2 対流	60
6.4.3 放射	61
6.4.4 熱伝導の式	61
6.4.5 体組織での熱輸送	63

7. 圧力

7.1 圧力の定義	65
7.1.1 圧力の単位	65
7.1.2 圧力の単位変換	67
7.2 ボイル・シャルルの法則	69
7.3 パスカルの原理	71

8. 流体力学

8.1 理想流体	75
8.2 流线	76
8.3 連続の式	76
8.4 ベルヌーイの定理	77
8.5 レイノルズ数 (層流と乱流)	82
8.6 ポアズイユの式	84

9. 音波と超音波

9.1 音波と超音波の関係	88
9.1.1 超音波の定義	88
9.1.2 横波と縦波 (疎密波)	88
9.2 波の基本式	90
9.3 音速	91
9.4 ドップラー効果	91

9.5	音のエネルギー	93
9.6	音響インピーダンス	94
9.7	音の減衰と直進性	95
9.8	超音波エコー	96
9.9	生体関係の音響特性	98

10. 光・電磁波・放射線

10.1	電磁波の分類	100
10.2	光の屈折	101
10.3	光の回折, 干渉, 分散	103
10.4	放射線	105
10.4.1	原子	105
10.4.2	放射線 (α 線, β 線, γ 線)	106
10.4.3	放射線の単位	106

付 録

A.	第2種 ME 技術実力検定試験	109
A.1	問題	109
A.2	解答・解説	127
B.	臨床工学技士国家試験	147
B.1	問題	147
B.2	解答・解説	177
索	引	212

0. 基礎知識

非常に大きな数あるいは小さな数は指数を使って表現するのが普通である。機械工学には指数表現された数字の計算が出てくる。本章ではこれ以降の章の基礎となる指数計算や三角関数などについて簡単に説明する。

0.1 単 位

1メートルと1インチでは大違いである。単位が統一されていないと不便でしょうがない。そこで**国際単位系 (SI)** というものが定められている。

0.1.1 基本単位

SIにおける**基本単位**は表0.1に示した七つである（七つすべて覚えること）。

表0.1 SI基本単位

時 間	長 さ	質 量	電 流	熱力学温度	物質質量	光度
s	m	kg	A	K	mol	cd
秒	メートル	キログラム	アンペア	ケルビン	モル	カンデラ

0.1.2 組立単位

例えば縦2m、横3mの長方形の面積は $2\text{m} \times 3\text{m} = 6\text{m}^2$ となり、面積の単位は m^2 （平方メートル）である。面積の単位は基本単位（この場合は長さ）を組み合わせてできており、これを**組立単位**という。10秒間に100m進む速度は $100\text{m}/10\text{s} = 10\text{m/s}$ である。速度の単位 m/s も基本単位（長さと時間）

を組み合わせた組立単位である。

力の単位は $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ という組立単位になる（次章の最初で説明する）。それはそれでいいのだが、力というのは物理現象の基本であるのに、その単位が $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ だというのは書くのも読むのも面倒くさい。ここは一つ別名を付けよう。別名は短くて発音しやすいものがよい。それが N（ニュートンと読む）である。 $1\text{ kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2=1\text{ N}$ である。このように別名が付いている単位はたくさんある。

これから学ぶ数々の公式は、そのほとんどが SI 単位で書かれている。

0.2 指数

10^2 とは 10 を 2 回かけ算するという意味で、 $10^2=10\times 10=100$ である。肩にある数字（ 10^2 の場合は 2）は**指数**と呼ばれる。 $10^3=10\times 10\times 10=1\,000$ 、 $10^4=10\times 10\times 10\times 10=10\,000$ である。 $100\,000\,000\,000$ より 10^{11} のほうがわかりやすく間違えが少ない。

$$10^3\times 10^2=1\,000\times 100=100\,000=10^5 \text{ となる。}$$

$$10^5/10^2=100\,000/100=1\,000=10^3 \text{ となる。まとめると}$$

$$10^a\times 10^b=10^{a+b}, \quad 10^a/10^b=10^{a-b} \tag{0.1}$$

では 10^1 とは何か。 $10^3/10^2=10^{3-2}=10^1$ だが、同時に $10^3/10^2=1\,000/100=10$ であるから $10^1=10$ である。

つぎに 10^0 とは何か。10 を 0 回かけ算するというのは意味がわからないが、 $10^2/10^2=10^{2-2}=10^0$ 、同時に $10^2/10^2=100/100=1$ であるから $10^0=1$ である。

10^{-1} とは何か。 $10^2/10^3=10^{2-3}=10^{-1}$ 、そして $10^2/10^3=100/1\,000=1/10$ 。すなわち $10^{-1}=1/10$ である。同様に $10^{-2}=1/100$ 、 $10^{-3}=1/1\,000$ 、つまり $10^{-a}=1/10^a$ である。前節で力の単位は $\text{kg}\cdot\text{m}/\text{s}^2$ であると言ったが、これは $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$ と書ける。

さて、例えば $1\,000=10^3$ だから $2\,000$ 、 $3\,000$ はつぎのように書ける。

$$1\,000 = 10^3$$

$$2\,000 = 2 \times 10^3$$

$$3\,000 = 3 \times 10^3$$

$$4\,000 = 4 \times 10^3$$

こうなると $1\,000 = 1 \times 10^3$ と書きたくなる。1 をかけても値は変わらないので数学的には「 $1 \times$ 」は必要ないが、あっても間違いではない。工学系の計算では 1×10^3 のような表現がしばしば用いられる。

例題 0.1

(1) $\frac{10^3}{10^{-4}}$ を計算せよ。

(2) 1 cm^2 は何 m^2 か。

解答

(1) $\frac{10^3}{10^{-4}} = 10^{3-(-4)} = 10^{3+4} = 10^7$

(2) $1\text{ cm}^2 = 1\text{ cm} \times 1\text{ cm} = \frac{1}{100}\text{ m} \times \frac{1}{100}\text{ m} = \frac{1}{10\,000}\text{ m}^2 = 10^{-4}\text{ m}^2$

0.3 SI 接頭辞

単位の前に付けて大きな値、または小さな値を表す言葉。1 km = 1 000 m, 1 mm = 1/1 000 m などは日常生活でもおなじみだろう。表 0.2 の SI 接頭辞はすべて覚えておかななくてはならない。といってもほとんどの接頭辞を聞いたことがあるだろう。いくつか注意を述べておく。

- ・ 10^3 を表すキロの k は小文字である。キログラムは kg であって Kg ではない。
- ・ 1 km 四方の正方形の面積は 1 km^2 であるが、これは $1\text{ km} \times 1\text{ km} = 1\,000\,000\text{ m}^2$ のことである。つまり $\text{km}^2 = (\text{km})^2$ という解釈である。 $1\text{ km}^2 =$

表 0.2 SI 接頭語

値	記号	読み	値	記号	読み
10^{18}	E	エクサ	10^{-1}	d	デシ
10^{15}	P	ペタ	10^{-2}	c	センチ
10^{12}	T	テラ	10^{-3}	m	ミリ
10^9	G	ギガ	10^{-6}	μ	マイクロ
10^6	M	メガ	10^{-9}	n	ナノ
10^3	k	キロ	10^{-12}	p	ピコ
10^2	h	ヘクト	10^{-15}	f	フェムト
10^1	da	デカ	10^{-18}	a	アト

$1\,000\text{ m}^2$ ではない。

- ・「ミリは $1/1\,000$ を表す。1 m をミリを使って表せ」といわれると、思わず $1\text{ m} = 1/1\,000\text{ mm}$ といってしまう人がいる。もちろん $1\text{ m} = 1\,000\text{ mm}$ である。

0.4 三角関数

三角関数の定義は図 0.1 (a) の三角形で

$$\sin\theta = \frac{b}{a} \quad \cos\theta = \frac{c}{a} \quad \tan\theta = \frac{b}{c} \quad (0.2)$$

である。図 0.1 (a) で b/a を $\sin\theta$ と表記することにしよう、ということで、証明が必要な話ではない。

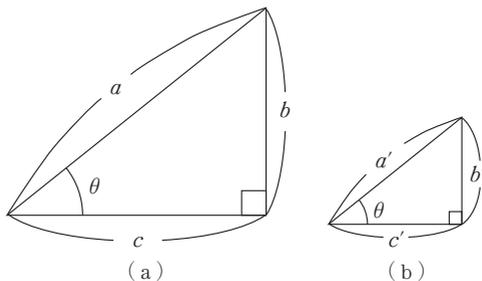


図 0.1

図 (b) は図 (a) を半分の大きさにしたものである。各辺の長さは半分になっているが角度は同じである。つまり大きさは違うが形は同じで、こういうのを相似という (大きさまで同じなら合同)。この場合は

$$\sin\theta = \frac{b'}{a'} \quad \cos\theta = \frac{c'}{a'} \quad \tan\theta = \frac{b'}{c'}$$

で、大きさが違ってても形が同じなら三角関数の値は同じになるというのがポイントである。

よく出てくるのは $\theta = 30^\circ$ の場合で、このときは次式となる。

$$\sin 30^\circ = \frac{1}{2} \quad \cos 30^\circ = \frac{\sqrt{3}}{2} \quad \tan 30^\circ = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad (0.3)$$

0.5 ラ ジ ア ン

図 0.2 (a) のように半径 r の円周上に r の円弧をとる。そのときにできる角度を 1 rad (ラジアンと読む) という。これも、そのようにしようという話で、証明はいらない。1 rad = 約 57.3° である。図 (b) のように円周上に $2r$ の円弧をとれば 2 rad となる。3 rad なら円周上に $3r$ の円弧がとられる。

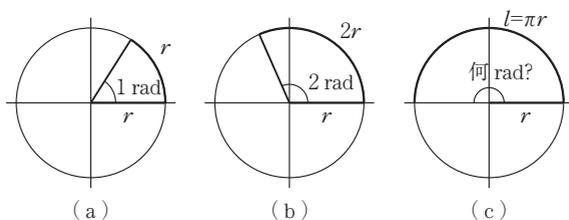


図 0.2

では 180° は何 rad か。図 (c) のように 180° の円弧 l をとり、この l が r 何個分か考えればよい。これは $l = \pi r$ であるから $180^\circ = \pi \text{ rad}$ である。同様に $360^\circ = 2\pi \text{ rad}$, $90^\circ = \pi/2 \text{ rad}$, $60^\circ = \pi/3 \text{ rad}$, $45^\circ = \pi/4 \text{ rad}$, $30^\circ = \pi/6 \text{ rad}$ などとなる。

索 引

【あ・い・う】		【け】
圧力勾配 84	原子 105	【せ】
圧力の単位変換 67	原子核 105	静 圧 78
安全率 28	原子番号 105	静水圧 78
位置エネルギー 53		絶対屈折率 102
運動エネルギー 52	【こ】	絶対温度 57
	向心力 40	せん断応力 31
【え】	降伏点 25	せん断速度 32
エネルギー 50	合 力 12	全反射 103
エネルギー保存の法則 53	国際単位系 1	
遠心力 40	固有角振動数 42	【そ】
	固有振動数 42	総 圧 79
	【さ】	相対屈折率 102
	最大静止摩擦力 45	層 流 82
	三角関数 4	塑性変形 25
		疎密波 89
	【し】	
応 力 19	シグマ効果 34	【た】
応力集中 27	仕 事 50	体積弾性率 26
応力-ひずみ曲線 24	仕事率 55	対 流 60
音響インピーダンス 94	指 数 2	ダッシュポット 34
温度勾配 62	質量数 105	縦 波 88
音 波 88	シーベルト 107	弾性限度 25
	斜面上の物体に働く力 14	弾性変形 25
【か・き】	シャルルの法則 70	
回 析 103	周 期 42	【ち】
カロリー 51	集軸効果 34	力 9
干 渉 103	重力加速度 11	——のモーメント 15
完全流体 75		中性子 105
基本単位 1	【す】	超音波 88
	スカラー 11	超音波エコー 96
【く】	スネルの法則 102	
屈 折 101	ずり応力 31	【て】
屈折角 102	ずり速度 32	電 子 105
組立単位 1		電磁波 100
クリーブ変形 34		
グレイ 107		

【と】		【ひ】	マックスウェルモデル	35
動 圧	79	ひずみ	【や・よ】	
同位体	105	非ニュートン流体	ヤング率	21
等速円運動	39	比 熱	陽 子	105
動粘性係数	32	微 分	横 波	88
動粘度	32	比例限度	【ら】	
動摩擦力	45		ラジアン	5
ドップラー効果	91	【ふ】	落下運動	37
トリチェリの定理	81	フォークトモデル	乱 流	82
【な・に】		フックの法則	【り・る】	
波の基本式	90	ブリズム	理想流体	75
入射角	102	浮 力	流 線	76
ニュートン流体	33	分 散	ルーロー	34
		分 力	【れ】	
【ね】		【へ】	レイノルズ数	82
熱エネルギー	58	ベクトル	連続の式	76
熱伝導	59	ベクレル	【英字】	
——の式	61	ベルヌーイの定理	Maxwell モデル	35
熱伝導率	59		SI	1
粘 性	30	【ほ】	SI 接頭辞	3
【は】		ポアズイユの式	Voigt モデル	35
ハーゲン・ポアズイユの式	84	ポアソン比	【ギリシャ文字】	
パスカルの原理	71	ボイル・シャルルの法則	α 線	106
波 長	90	ボイルの法則	β 線	106
バネ定数	40	放 射	γ 線	106
反射角	102	放射線		
		【ま】		
		摩擦係数		

— 著者略歴 —

1985年 北海道大学工学部精密工学科卒業
1987年 北海道大学大学院修士課程修了(精密工学専攻)
日本電子株式会社入社
1990年 北海道大学助手
1999年 博士(工学)(北海道大学)
2007年 北海道大学大学院助教
現在に至る

改訂 臨床工学技士のための 機械工学

Mechanical Engineering for Clinical Engineers (Second Edition)

© Ikuya Nishimura 2013, 2022

2013年1月10日 初版第1刷発行
2020年9月30日 初版第4刷発行
2022年9月28日 改訂版第1刷発行

★

検印省略

著者	にしむら いくや 西村 生哉
発行者	株式会社 コロナ社
代表者	牛来真也
印刷所	萩原印刷株式会社
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 978-4-339-07277-8 C3047 Printed in Japan

(森岡)



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。