

# 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）といった啓蒙もよう的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しかり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<sup>どろ</sup>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、この過去問解の解答・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

## 1. 力

1.1 力 と は	1
1.1.1 力 の 定 義	1
1.1.2 重 力 加 速 度	2
1.1.3 質 量 と 重 さ	3
1.2 合 力 と 分 力	4
1.3 力 の モーメント	9

## 2. 材 料 力 学

2.1 応 力 と ひ ず み	13
2.1.1 材 料 の 変 形	13
2.1.2 応 力	14
2.1.3 ひ ず み	16
2.1.4 フックの法則とヤング率	17
2.2 ポアソン比	20
2.3 応力-ひずみ曲線	21
2.4 体積弾性率	24
2.5 応力集中	25
2.6 安 全 率	26

## 3. 粘 弾 性

3.1 粘 性 の 定 義	28
---------------	----

3.2	ニュートン流体と非ニュートン流体	31
3.3	血液の粘性的性質	31
3.4	固体の粘性	32

## 4. 力 と 運 動

4.1	力と運動を理解するための基礎知識	34
4.1.1	微 分	34
4.1.2	速 さ と 速 度	37
4.1.3	ラ ジ ア ン	37
4.1.4	バ ネ 定 数	38
4.2	落 下 運 動	39
4.3	等 速 円 運 動	40
4.4	バ ネ の 振 動	43
4.4.1	バ ネ の 振 動	43
4.4.2	振動における速度と加速度	45
4.5	摩擦のある面上での運動	47
4.5.1	摩擦の法則と摩擦係数	47
4.5.2	摩擦面での運動	49
4.5.3	三角定規の辺の長さの比	52

## 5. エ ネ ル ギ ー

5.1	エネルギー（仕事）の定義	56
5.2	運動エネルギーと位置エネルギー	58
5.2.1	運動エネルギー	58
5.2.2	位置エネルギー	59
5.3	エネルギー保存の法則	60
5.4	仕 事 率	62

## 6. 熱

6.1	温 度	65
-----	-----	----

6.2 比 熱	66
6.3 熱エネルギー	66
6.4 熱 の 移 動	67
6.4.1 熱 伝 導	67
6.4.2 対 流	68
6.4.3 放 射	69
6.4.4 熱伝導の式	69
6.4.5 体組織での熱輸送	71

## 7. 圧 力

7.1 圧力の定義	73
7.1.1 圧力の単位	73
7.1.2 圧力の単位変換	75
7.2 ボイル・シャルルの法則	77
7.3 パスカルの原理	80

## 8. 流 体 力 学

8.1 理想流体	85
8.2 流 線	86
8.3 連続の式	86
8.4 ベルヌーイの定理	87
8.5 レイノルズ数	92
8.6 ポアズイユの式	94

## 9. 音波と超音波

9.1 音波と超音波	98
9.1.1 超音波の定義	98
9.1.2 横波と縦波	98
9.2 波の基本式	100

9.3	音 速	101
9.4	ドップラー効果	102
9.5	音のエネルギー	104
9.6	音響インピーダンス	105
9.7	音の減衰と直進性	105
9.8	超音波エコー	106
9.9	生体関係の音響特性	108

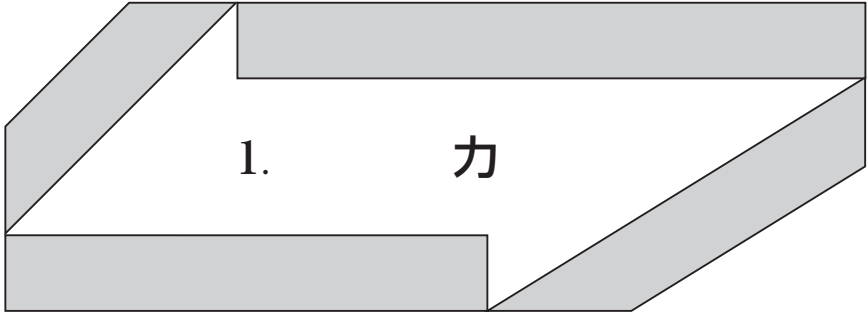
## 10. そ の 他

10.1	ね じ	110
10.2	滑 車	111
10.3	波 数	113
10.4	デシベル	114
10.5	電気系と機械系の対応	115

## 付 録

A.	第2種 ME 技術実力検定試験	119
A.1	問 題	119
A.2	解 答 ・ 解 説	135
B.	臨床工学技士国家試験	152
B.1	問 題	152
B.2	解 答 ・ 解 説	184

索 引	215
-----	-----



物体の運動状態（速度）が変化し、あるいは形が変わるとき、その物体には力が働いているという。力は機械工学（力学）の最も基本的な量であり、本章の内容は2章以降の基礎となるものである。

## 1.1 力 と は

### 1.1.1 力の定義

止まっている物体に力が働いて動き出すことを考えよう（図 1.1 参照）。「質量」の大きいものを「勢い」よく動かすためには大きな「力」が必要である。これを式にすると「力＝質量×勢い」となる。勢いというのを正確な言葉で書くと加速度である。したがって、この式は正しくは「力＝質量×加速度」となる。この式は書くのが面倒なので、普通は

$$F = m \alpha \quad (1.1)$$

と表現される。 $F$ が力、 $m$ が質量、 $\alpha$ が加速度である。これが力の定義式である（これを慣性力という）。

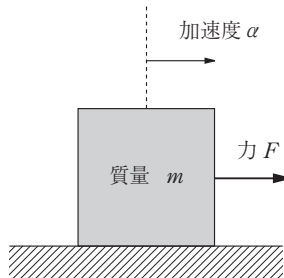


図 1.1

## 2 1. 力

$F$ は force の頭文字である。力学の力は power ではなく force である。映画「スターウォーズ」に出てくるフォースはこれのことで、日本語訳などで「フォースの力」などとなっていることがあるが、それでは馬から落馬になってしまう。 $m$ は mass の頭文字である。mass には質量という意味のほかに大きなかたまり、集まりという意味もあり、マスコミのマスがそれである。 $a$ は a のことで、acceleration である。車のアクセルを踏むと加速する。

力の単位について考えよう。例えば、1 m 四方の正方形の面積は  $1\text{ m} \times 1\text{ m} = 1\text{ m}^2$  であるし、10 秒間に 100 m 進む速さは  $100\text{ m}/10\text{ s} = 10\text{ m/s}$  である。単位というのはこのように単純にできている。質量の単位は kg、加速度の単位は  $\text{m/s}^2$  であるから、質量 [kg]  $\times$  加速度 [ $\text{m/s}^2$ ] = 力 [ $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$ ] となる。すなわち力の単位は  $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$  であるが、力学の最も基本である力の単位が  $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$  というのはあまりにも面倒くさい。そこで  $\text{kg}\cdot\text{m/s}^2$  に別名をつけた。それが N (ニュートンと読む) である。 $1\text{ kg}\cdot\text{m/s}^2 = 1\text{ N}$  である。N はもちろんリンゴが落ちるのを見て万有引力を発見したことで有名な (真偽は不明らしい) アイザック・ニュートン (Isaac Newton) にちなんでいる。力というのは日常生活でもよく使う言葉であるし力学の基本であるが、力の単位を知っている人は非常に少ない。力の単位は N (ニュートン)。絶対に忘れてはならない。

---

**例題 1.1** 長さ、質量、時間をそれぞれ L, M, T で表すとき、力の次元はつぎのうちどれか。

- (1)  $[\text{M}\cdot\text{T}^{-1}]$                       (2)  $[\text{L}\cdot\text{T}^{-2}]$                       (3)  $[\text{L}\cdot\text{M}\cdot\text{T}^{-2}]$   
(4)  $[\text{L}^{-1}\cdot\text{M}\cdot\text{T}^{-2}]$               (5)  $[\text{L}^2\cdot\text{M}\cdot\text{T}^{-2}]$

**解答** -----

$\text{kg}\cdot\text{m/s}^2 = [\text{M}\cdot\text{L}\cdot\text{T}^{-2}]$  であるから答は (3)。 ◆

---

### 1.1.2 重力加速度

地球上ではどんなものでも  $9.8\text{ m/s}^2$  の加速度で落ちる (空気抵抗などを無



視した場合)。この  $9.8 \text{ m/s}^2$  という加速度の原因は地球の重力である。そこでこれを重力加速度と呼び、 $g$  で表す。 $g$  は gravity (重力) の頭文字である。

質量  $1 \text{ kg}$  のものを手に持ったときに感じる力 (すなわち重さ) はいくらかであろうか。式 (1.1) の  $m$  に  $1 \text{ kg}$ ,  $a$  に  $g (=9.8 \text{ m/s}^2)$  を代入すると質量  $1 \text{ kg}$  のものを手に持ったときに感じる力を計算でき、答は  $9.8 \text{ N}$  となる。すなわち質量  $100 \text{ g} (=0.1 \text{ kg})$  のもの (飲みかけの缶コーヒーなど) を手に持ったときに感じる力がほぼ  $1 \text{ N}$  (正確には  $0.98 \text{ N}$ ) となる。

医師は血圧  $130 \text{ mmHg}$  というのがどの程度高いのか感覚的に知っている。車を運転する者は時速  $60 \text{ km}$  というのがどのような速さなのか感覚的に知っている。臨床「工学」技士であるなら  $1 \text{ N}$  の力の感覚的な大きさは覚えておくべきである。

質量  $m$  [kg] の物体に働く下向きの力 (重力) は  $mg$  [N]。これは、本書においてこれ以降繰り返し出てくることになる。

### 1.1.3 質量と重さ

質量と重さについて触れておこう。質量と重さは本質的に異なる量であり、単位も違っている。

われわれは日常生活の中で「体重  $60 \text{ kg}$ 」などという。これは日常会話的には何の問題もないが、物理的には間違った表現である。体重とは体の重さのことであり、重さとは物体が重力によって受ける力のことである。したがって本来、体重は  $\text{N}$  (ニュートン) で表現しなければならない。体重  $60 \text{ kg}$  ではなく体重  $588 \text{ N} (=60 \times 9.8)$  というのが物理的な正解である。

一方、質量とは「力が物体を動かそうとする時に物体の慣性によって生ずる抵抗の度合を示す量」(広辞苑) であり、これを数式で表したのが式 (1.1) である。例えば、テレビなどで宇宙船内の無重力状態の映像を見たことがあるだろう。無重力なので重さは  $0$  になり、物体はふわふわと中に浮いている。この場合でも質量はちゃんとあり、止まっている物体を動かすためには力が必要である (逆にいうと、力を加えなければ物体は止まったままである)。

質量の単位は kg で、重さの単位は N である。つまり、「体重 60 kg」という表現は「体重 60 m」というくらい変だということになる。

では、なぜ「体重 60 kg」という表現が普通に使われているのだろうか。地球上で質量 1 kg の物体にかかる重力は 9.8 N であるが、これを 1 kgf (キログラムエフまたはキログラムフォース) という。f の部分を漢字で書いて 1 kg 重 (キログラムじゅう) ということもある。kgf (kg 重) は力の単位である。したがって、「体重 60 kg」は間違いであるが「体重 60 kgf (kg 重)」は正しいということになる。「体重 60 kg」という表現は「体重 60 kgf (kg 重)」の省略形だと考えるとよい。

月の重力は地球の 1/6 だといわれる。質量 60 kg の人の体重は地球上では 60 kgf であるが、月面では 10 kgf になる。もちろん、その人の質量は地球上でも月面でも 60 kg である。

## 1.2 合力と分力

同じ大きさの力でも押すのと引くのとでは大違いなわけで、つまり力はその大きさだけでなく、向きも重要である。大きさと向きを持つ量をベクトルといい、力はベクトルである。向きのない量はスカラーといい、長さ、面積、時間、年齢などはスカラーである (20 歳の向きといわれても困るでしょう)。

ベクトルとスカラーにはいろいろな違いがあるが、ME 2 種や国家試験の範囲で考えると、足し算と引き算の方法の違いを覚えておけばよい。スカラーの足し算、引き算は何の問題もない。 $1+1=2$  だし、 $5-3=2$  である。ベクトルの足し算、引き算は向きを考慮する分、もう少しだけ複雑になる。図 1.2 を見てみよう。ボールに二つの力  $F_1$  と  $F_2$  (太字はベクトルを表す) が同時に働いている。簡単のために  $F_1$  と  $F_2$  の大きさは同じであるとする。図 (a) は二つの力の方向が逆である。この場合は簡単で二つの力を足す (同時に力を加える) と、結果は 0 になりつまり力が働いていないのと同じになる (ボールが動かないという意味である。変形はする)。また、引き算  $F_1 - F_2$  は  $F_2$  の向き

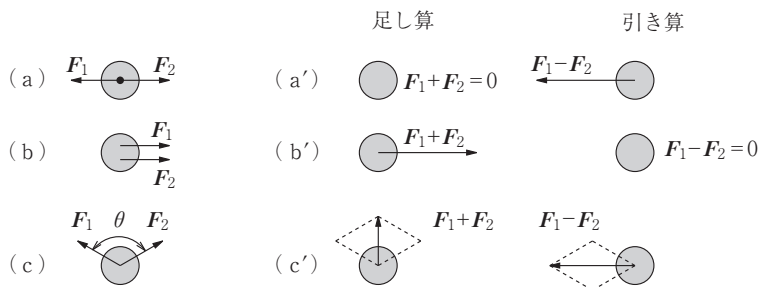


図 1.2

を逆にして足せばよく、結局左向きに  $F_1$  の大きさと  $F_2$  の大きさを足した分の力が加わる。

図 (b) は二つの力の方向が同じである。この場合も簡単に足し算は単純に足せばいいし、引き算すると 0 になり力が働いていないのと同じになる（動かないだけ、変形はする）。

ややこしいのは二つの力  $F_1$  と  $F_2$  の向きが異なっている ( $0^\circ$  でも  $180^\circ$  でもない) 場合である。ややこしいといっても直感的には何も難しいことはない。図 (c) のように力を加えると、ボールは上のほうに動く。つまり上向きの力を加えたのと同じである。この上向きの力は  $F_1$  の大きさと  $F_2$  の大きさを足したものにはならない。上向きの力の大きさは二つの力の角度  $\theta$  に影響される。 $\theta$  が  $180^\circ$  なら図 (a) と同じになり、上向きの力は発生しない。 $\theta$  が  $0^\circ$  のときは図 (b) と同じことになり、この場合も上向きの力は発生しない。上向きの力の大きさを数式で求めることもできるが、その方法はあとで説明することにして、ここでは作図で求める方法を示そう。図 (c') のように  $F_1$  と  $F_2$  を 2 辺とする四角 (平行四辺形) を作ると、その対角線がそのまま力の向きと大きさを示すことになる。引き算も同じことで、 $F_1-F_2$  なら  $F_2$  を逆向きにして平行四辺形を作ればいだけである。

$F_1$ ,  $F_2$  に対して  $F_1+F_2$  を合力という。逆に  $F_1+F_2$  に対して  $F_1$ ,  $F_2$  を分力という。

さて上の説明では合力、分力を図で求めたが、試験問題では角度  $\theta$  が示され

て、そこから、特に分力を求めなければならない場合がある。試験中は定規も分度器も持ち込めないで、計算で求めるしかない。斜面上の物体に働く力を例に、以下でその方法を説明しよう。図 1.3 のような斜面に質量  $m$  の物体が乗っている。簡単のため斜面と物体の間には摩擦はないとする（摩擦がある場合は 4 章で解説する）。放っておくと物体は斜面を滑り落ちる。落ちないために下から支える力  $F$ （斜面に平行）はいくらになるだろうか。

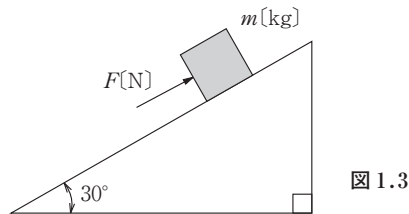


図 1.3

解き方を図 1.4 に示す。左側の図を見てほしい。まず、質量  $m$  の物体は重力によって鉛直下方向に  $mg$  の力を受ける。この力は、斜面を垂直に押す力  $F_2$  と斜面に平行な力  $F_1$  とに分けられる。 $mg$  に対して  $F_1$ ,  $F_2$  は分力になっているわけである。いまの場合は斜面と物体の間の摩擦がないとしているので、 $F_2$  はいくらであっても関係ない。そして、 $F_1$  が求めるべき  $F$  そのものである。したがって  $F_1$  を求めればよいわけだが、このままでは図がわかりにくいので、左側の図の破線の楕円で囲った部分の三角形を右側に抜き出してみた。わかりやすいように反時計方向に少し回転させてある。さてこの三角形はもとの斜面と同じ形の直角三角形で、先端部分の角度は  $30^\circ$  である。つまり、これは三角定規の大きい方と同じ形になっている。この  $30^\circ-60^\circ-90^\circ$  の直角三角

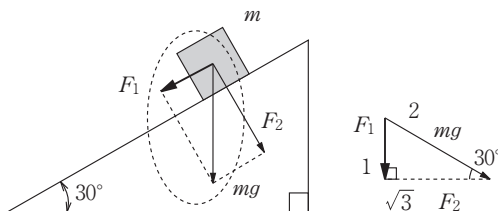


図 1.4

# 索 引

	<b>【あ】</b>	周 期	44		
		蒸 散	72	<b>【は】</b>	
遠心力	40	水 銀	74	波 長	100
	<b>【か】</b>	スカラー	4	左ねじ	111
角速度	40	ずり応力	29	ピッチ	111
加速度	1	ずり速度	30	比例限度	22
向心——	41	静 圧	89	ベクトル	4
重力——	3	絶対温度	65	放 射	72
振動における速度		せん断応力	29	ポテンシャルエネルギー	60
と——	45	せん断速度	30		<b>【ま】</b>
落下の——	39	総 圧	89	右ねじ	111
完全流体	85	層 流	92	モル数	77
クリープ現象	33	塑性変形	22		<b>【ら】</b>
クリープ変形	33	疎密波	99	乱 流	92
クーロンの摩擦法則	48			リード	111
向心力	42	<b>【た】</b>		流速分布	92
降伏点	22	弾性限度	22	臨界レイノルズ数	93
固有角振動数	44	弾性変形	22		<b>【わ】</b>
固有振動数	44	動 圧	89	ワッシャ	110
	<b>【さ】</b>	トリチェリの定理	91		
座 金	110				
		<b>【な】</b>			
		熱伝導率	67		

— 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

臨床工学技士のための機械工学

Mechanical Engineering for Clinical Engineers

© Ikuya Nishimura 2013

2013年1月10日 初版第1刷発行



検印省略

著者 にしむら いくや 哉  
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

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>

ISBN 978-4-339-07232-7

(大井)

(製本：愛千製本所)

Printed in Japan



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おります。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おりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします