

# 臨床工学技士のための 生体計測装置学

博士(工学) 西村 生哉 共著  
工学博士 三田村 好矩

コロナ社

# まえがき

臨床工学技士受験における工学分野の勉強で大切なのは、機械や電気の理論や公式を実際の試験問題と結びつけて解答にたどり着けるための応用力である。しかしながら、生体計測分野はそうではない。生体計測で重要なのは（こういっては身も蓋もないが）、ずばり暗記である。不分極電極には Ag/AgCl 電極や Hg/Hg<sub>2</sub>Cl<sub>2</sub> 電極などがある、などというのは勉強していなければわかるものではない。もちろん、単なる暗記ではなく、なぜそうなるのかという理解が必要な部分も多いのだが、暗記すべき内容が多いというのは事実である。

著者らは、これまで「臨床工学技士のための機械工学」、「同電気工学」を著してきたが、その際の方針はつねに“第2種 ME 技術実力検定試験（以下 ME 2 種と呼ぶ）と臨床工学技士国家試験（以下国家試験と呼ぶ）に必要な内容を過不足なく”であった。本書においても、そのコンセプトは貫かれている。執筆の前に ME 2 種と国家試験の過去問を取り寄せ、そこから生体計測分野の問題をピックアップした。本文の解説は、それらの問題を解けるような説明を盛り込んだ内容にしたつもりである。この作業を行わなければ、試験に出る大事な内容を書き漏らしたり、逆に試験に出ない内容を延々と説明することになりかねないからである。

ME 2 種と国家試験の過去問を調べてわかったことは、同じ内容が手を替え品を替え表現を替えて、何年にもわたって出題されていることである。“理屈や計算の機械・電気”と同様、“暗記の計測”においても、しっかりと過去問演習を行うことには大きな効果が期待できる。そのため「臨床工学技士のための機械工学」、「同電気工学」と同様に、本書の後半には ME 2 種と国家試験の

過去問およびその解答・解説を掲載した。計測は暗記，と書いたが，「あ，これは2年前のあの問題と同じだ！」などと気づくくらいに過去問をやりこめば，重要事項は自然と頭に入るわけであり，英単語の暗記のように単語帳を持ち歩く必要はない。

本書の著者は二人である。お互いに内容をチェックしあって執筆を進めたが，文体の統一などは行っていないので，“このセクションから著者が変わったな”などと想像してみるのも，味気ない受験勉強の中でのささやかな楽しみになるかもしれない。

なお，本書発刊後のME2種・国家試験問題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・国家試験合格の一助になれば幸いである。

2017年5月

西村 生哉  
三田村好矩

# 目 次

## 1. 計測の基礎

1.1 単 位	1
1.1.1 基本単位	1
1.1.2 組立単位	2
1.1.3 無次元量	4
1.1.4 SI接頭辞	5
1.2 誤 差	6
1.2.1 誤差の種類	6
1.2.2 誤差の範囲	9
1.2.3 誤差の計算	9
1.2.4 正確さを表す言葉	11
1.2.5 サンプルング定理とエイリアシング	12
1.3 雑 音	15
1.3.1 雑音の種類	15
1.3.2 雑音対策	16
1.3.3 SN 比	22
1.3.4 入力換算雑音	23
本章のまとめ	24

## 2. 生体情報の取得

2.1 電 気 信 号	27
2.1.1 電 極	27
2.1.2 生体電気信号の大きさと周波数範囲	29

2.1.3	時定数とフィルタ	31
2.1.4	外部雑音	32
2.1.5	差動増幅器	33
2.1.6	入力インピーダンス	35
2.1.7	心電図	36
2.1.8	脳波	41
2.2	超音波	45
2.2.1	超音波の性質	46
2.2.2	超音波ドプラ血流計	47
2.2.3	超音波血流計の種類	49
2.2.4	超音波画像計測	51
2.2.5	超音波計測の補足	52
2.3	エックス線	53
2.3.1	エックス線写真	53
2.3.2	エックス線 CT	55
2.4	磁気計測	57
2.4.1	生体磁気現象	57
2.4.2	心磁図, 脳磁図	58
2.4.3	MRI	61
2.5	光計測	65
2.5.1	パルスオキシメータ	66
2.5.2	サーモグラフ	70
2.5.3	内視鏡	72
2.6	温度計測	73
2.6.1	いろいろな体温計	73
2.6.2	覚えるべき用語	76
2.7	血液ガス	78
2.7.1	電圧測定法 (ポテンシオメトリー)	78
2.7.2	電流測定法 (アンペロメトリー)	81
	本章のまとめ	83

### 3. 信号処理, 表示・記録, データ伝送

3.1 信号処理に使われる演算	90
3.2 記録計の種類と特徴	95
3.3 医療用テレメータ	99
3.3.1 電波法の規律	99
3.3.2 医療用テレメータの構成	100
3.3.3 周波数(チャンネル)の管理	100
本章のまとめ	103

### 付 録

A. 第2種 ME 技術実力検定試験	105
A.1 問 題	105
A.2 解答・解説	128
B. 臨床工学技士国家試験	143
B.1 問 題	143
B.2 解答・解説	185
引用・参考文献	212
索 引	213

# 1. 計測の基礎

本章では、どんな計測にも必ず必要になる基礎知識、すなわち単位、誤差、雑音について述べる。

## 1.1 単 位

計測を行ってなんらかの値が出てきたとき、一般的にその値にはメートル（長さ）とかボルト（電圧）などの単位がある。同じ1という長さでも、それが1メートルなのか1インチなのかで大違いである。そこで、**国際単位系（SI）**というものが定められている。

### 1.1.1 基本単位

SI単位系における**基本単位**は、表1.1に示す七つである（七つすべて覚えること）。

表1.1 SI基本単位

時 間	長 さ	質 量	電 流	熱力学温度	物質量	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

それぞれには定義がある。例えば、時間の単位である秒は、広辞苑によると「1秒はセシウム原子133の基底状態の二つの超微細準位間の遷移によって発する光の振動周期の91億9263万1770倍の時間」となる。この定義を覚える必要はない（新しい理論や時代に合わせて改訂される）。

## 2 1. 計測の基礎

### 1.1.2 組立単位

例えば、縦 2 m、横 3 m 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  $\text{m}^2$  (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 100 m 進む速度は  $100\text{ m} / 10\text{ s} = 10\text{ m/s}$  である。速度の単位  $\text{m/s}$  も基本単位 (長さと時間) を組み合わせた組立単位である。

ここで、力の単位を考えよう。質量を  $m$  [kg]、加速度を  $a$  [ $\text{m/s}^2$ ] とすると力  $F$  は  $F = m \cdot a$  であるから、力の単位は  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$  ( $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ とも書ける) という組立単位になる。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  $\text{kg} \cdot \text{m/s}^2$  だというのは書くのも読むのも面倒くさい。ここは一つ、別名をつけよう。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。 $1\text{ kg} \cdot \text{m/s}^2 = 1\text{ N}$  である。

このように、別名がついている単位はたくさんある。臨床工学技士として必要な組立単位を表 1.2 に示す。それぞれの単位が表す量の意味などはここでは説明しないので、関連の教科書を確認してほしい。

単位は、基本的に一文字であることが多いが、Pa や Wb などは二文字で一つの単位である。同じ二文字でも km ( $k+m$ ) などとは違う。

表 1.2 で示したさまざまな単位の中で、特に圧力は Pa 以外にもいろいろな単位があり、その変換が試験に出る。変換式はつぎのとおりである。

$$1\text{ kgf/cm}^2 \doteq 1\text{ atm} \doteq 760\text{ mmHg(Torr)} \doteq 1\text{ 万 mmH}_2\text{O} \doteq 10\text{ 万 Pa} \quad (1.1)$$

かなり大ざっぱであるが、試験にはこれで十分に対応可能である。圧力の単位変換問題は ME 2 種でも国家試験でも頻出問題なので、上の変換式 (1.1) は必ず覚えておくこと。

表 1.2 いろいろな組立単位

単位名	記号	読み方	SI 基本単位表記	備 考
周波数	Hz	ヘルツ	$s^{-1}$	
力	N	ニュートン	$kg \cdot m \cdot s^{-2}$	
圧力, 応力, ヤング率	Pa	パスカル	$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}$	$N/m^2$
粘度 (粘性率)			$kg \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}$	$Pa \cdot s$
力のモーメント (トルク)			$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$	$N \cdot m$
エネルギー (仕事量)	J	ジュール	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2}$	$N \cdot m$
仕事率 (電力)	W	ワット	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3}$	$J/s$
電圧, 電位差, 起電力	V	ボルト	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	$W/A$
電気抵抗, インピーダンス, リアクタンス	$\Omega$	オーム	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$	$V/A$
コンダクタンス	S	ジーメンズ	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^3 \cdot A^2$	$\Omega^{-1}$
電荷 (電気量)	C	クーロン	$A \cdot s$	
静電容量	F	ファラッド	$kg^{-1} \cdot m^{-2} \cdot s^4 \cdot A^2$	$C/V$
インダクタンス	H	ヘンリー	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$	$Wb/A, V \cdot s/A$
電界 (電場) の強さ			$kg \cdot m \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$	$V/m, N/C$
磁界 (磁場) の強さ			$m^{-1} \cdot A$	$A/m, N/Wb$
磁 束	Wb	ウェーバ	$kg \cdot m^2 \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$V \cdot s$
磁束密度	T	テスラ	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$	$Wb/m^2$
光 束	lm	ルーメン	$cd \cdot sr$	
照 度	lx	ルクス	$cd \cdot sr \cdot m^{-2}$	$lm/m^2$
放射能	Bq	ベクレル	$s^{-1}$	
吸収線量	Gy	グレイ	$m^2 \cdot s^{-2}$	$J/kg$
線量当量	Sv	シーベルト	$m^2 \cdot s^{-2}$	$J/kg$

**例題 1.1** 次の組み合わせで正しいのはどれか。

- (1)  $Pa - N \cdot m^{-1}$       (2)  $J - N \cdot m^2$       (3)  $W - J \cdot s$   
 (4)  $F - C \cdot V$       (5)  $H - Wb \cdot A^{-1}$

**解 答** -----

答は (5)。ほかは、正しくは以下のとおりである。

- (1)  $Pa - N \cdot m^{-2}$       (2)  $J - N \cdot m$       (3)  $W - J \cdot s^{-1}$       (4)  $F - C \cdot V^{-1}$  ◆

**例題 1.2** 血圧は通常 mmHg の単位で示される。圧力を mmHg と異なる単位で表現したとき、最高血圧として正常な範囲にないのはどれか。

- (1) 120 Torr      (2) 160 hPa      (3) 0.150 kgf/cm<sup>2</sup>  
 (4) 15.8 cmH<sub>2</sub>O      (5) 0.015 MPa

**解答** -----

1 kgf/cm<sup>2</sup> ≃ 1 atm ≃ 760 mmHg(Torr) ≃ 1 万 mmH<sub>2</sub>O ≃ 10 万 Pa を使う。

- (1) 120 Torr = 120 mmHg。正常。  
 (2) 160 hPa = 16 000 Pa ≃ 122 mmHg。正常。  
 (3) 0.150 kgf/cm<sup>2</sup> ≃ 114 mmHg。正常。  
 (4) 15.8 cmH<sub>2</sub>O = 158 mmH<sub>2</sub>O ≃ 12 mmHg。異常。  
 (5) 0.015 MPa = 15 000 Pa ≃ 114 mmHg。正常。  
 よって、答は (4)。

この問題は実はもう少し楽に解ける。圧力変換式を 10 分の 1 にすると

$$0.1 \text{ kgf/cm}^2 \doteq 0.1 \text{ atm} \doteq 76 \text{ mmHg(Torr)} \doteq 1\,000 \text{ mmH}_2\text{O} \doteq 1 \text{ 万 Pa}$$

76 mmHg というのは正常血圧の下限近くだろう。また、これを 2 倍すると

$$0.2 \text{ kgf/cm}^2 \doteq 0.2 \text{ atm} \doteq 152 \text{ mmHg(Torr)} \doteq 2\,000 \text{ mmH}_2\text{O} \doteq 2 \text{ 万 Pa}$$

152 mmHg というのは血圧としてはちょっと高すぎるが、例えば kgf/cm<sup>2</sup> なら 0.1 ~ 0.2 の範囲なら正常と考えてもよいとする。すると、与えられた圧力を mmHg に変換しなくても (4) が明らかに異常であるとわかる。

1 kgf/cm<sup>2</sup> ≃ 1 atm…の換算式は≃なので正確な値ではないが、大小の比較や血圧の正常・異常の判断には十分対応できる。◆

### 1.1.3 無次元量

ここまで単位の話をしてきたが、実は単位のない量というものもある。例えば、物体の変形を表すひずみは「伸びた (縮んだ) 長さ/もとの長さ」で定義される (体積ひずみというのものもあるが、ここでは考えない)。単位を考えると m/m となって消えてしまう。したがって、ひずみは単位のない量である。単位のない量のことを**無次元量**という。無次元量を表 1.3 に示す。角度を示す rad (ラジアン) は、実は無次元量である。π/2 rad などとっているが、本

当は、この $\pi/2$ には単位がないのである。  
 ただ、 $\pi/2$ という値が角度を示すことをはっきりさせるために rad という名前が与えられている。

ここまでSI単位について説明してきたが、  
 いわゆる“公式”というものは基本的にSI

単位でできている。例えば、応力=力/面積であるが、応力の単位は Pa, 力の単位は N, 面積の単位は  $m^2$  である。1 cm 四方は  $1\text{ cm}^2$  であるが、これは  $1 \times 10^{-4}\text{ m}^2$  に直さなければならない。公式はわかっているのについてうっかり計算間違いをしてしまいがちなので、注意が必要である。

表 1.3 おもな無次元量

ひずみ	
ポアソン比	
レイノルズ数	
SN 比	dB デシベル
利 得	dB デシベル
角 度	rad ラジアン

#### 1.1.4 SI 接 頭 辞

単位の前につけて大きな値、または小さな値を表す言葉である。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 1.4 の **SI 接頭辞** は覚えておかなくてはならない。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。いくつか注意点を述べておく。

表 1.4 SI 接頭辞

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

- $10^3$  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。大文字の K は SI 基本単位のケルビンである。
- 1 km 四方の正方形の面積は  $1\text{ km}^2$  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。  $1\text{ km}^2$  を  $1\text{ k}(\text{m})^2$  と考えて  $1\text{ km}^2 = 1\,000\text{ m}^2$  とするのは誤り。  $1\,000\,000\text{ m}^2 = 1\text{ km}^2$  であって  $1\text{ Mm}^2$  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  $1\text{ m} = 1/1\,000\text{ mm}$



電子内視鏡	72				
電磁波	53				
電磁誘導による雑音	33				
電流測定法	81				
		<b>【と】</b>			
同相信号	34				
同相信号除去比	17				
同相弁別比	34				
トランジットタイム型					
超音波血流計	50				
		<b>【な】</b>			
内部雑音	15				
		<b>【に】</b>			
入力インピーダンス	35				
入力換算雑音	23				
		<b>【ね】</b>			
熱雑音	15				
熱電対	75				
熱流補償法	76				
ネルンストの式	79				
		<b>【の】</b>			
脳磁図	57				
		<b>【は】</b>			
		ハイパスフィルタ	19		
		パルスオキシメータ	66		
		パルス法	49		
		パワードブラ	48		
		バンド	99, 100		
		<b>【ひ】</b>			
		標準感度	97		
		標準速度	97		
		標準偏差	9		
		標準化誤差	8		
		<b>【ふ】</b>			
		ファイバ스코ープ	72		
		不分極電極	28		
		プランクの法則	70		
		フーリエ変換	93		
		分極電位	28		
		分散	9		
		<b>【へ】</b>			
		弁別比	34		
		ペルチェ効果	78		
		偏差	9		
		<b>【ほ】</b>			
		ポテンシオメトリー	78		
		<b>【ま】</b>			
		マイスナー効果	59		
		<b>【む】</b>			
		無次元量	4		
		<b>【よ】</b>			
		横緩和時間	64		
		<b>【ら】</b>			
		ラーモア周波数	62		
		ランベルト・ベールの法則	66		
		<b>【り】</b>			
		量子化誤差	8		
		<b>【れ】</b>			
		連続波法	49		
		<b>【ろ】</b>			
		ローパスフィルタ	19		

		<b>【A】</b>			
A モード像	51				
		<b>【B】</b>			
B モード像	51				
		<b>【C】</b>			
CMRR	17, 34				
CT 値	56				
		<b>【I】</b>			
		ISFET	79		
		<b>【M】</b>			
		MRI	58		
		M モード	52		
		<b>【P】</b>			
		P <sub>CO<sub>2</sub></sub> 電極	80		
		pH 電極	79		
		<b>【S】</b>			
		P <sub>O<sub>2</sub></sub> 電極	81		
		SI	1		
		SI 接頭辞	5		
		SN 比	22		
		SQUID 磁束計	59		
		<b>【数字】</b>			
		1/f 雑音	16		
		12 誘導心電図	36		

— 著者略歴 —

西村 生哉 (にしむら いくや)

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

三田村 好矩 (みたむら よしのり)

1966年 名古屋工業大学工学部計測工学科卒業  
1969年 北海道大学大学院修士課程修了  
(電子工学専攻)  
1971年 北海道大学大学院博士課程修了  
(電子工学専攻)  
工学博士  
北海道大学助手  
1978年 北海道大学助教授  
1989年 北海道東海大学教授  
1998年 北海道大学教授  
2007年 北海道大学名誉教授

臨床工学技士のための生体計測装置学

Organism Measuring Device for Clinical Engineers

© Ikuya Nishimura, Yoshinori Mitamura 2017

2017年7月10日 初版第1刷発行



検印省略

著者 西村 生哉  
三田村 好矩  
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 <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-07243-3 C3047 Printed in Japan

(大井)



< 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 03-3513-6969, FAX 03-3513-6979, 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。