

機械系 教科書シリーズ 8

---

# 計測工学 (改訂版)

— 新 SI 対応 —

工学博士 前田 良昭

工学博士 木村 一郎 共著

工学博士 押田 至啓

コロナ社

## 機械系 教科書シリーズ編集委員会

編集委員長 木本 恭司 (大阪府立工業高等専門学校・工学博士)  
幹 事 平井 三友 (大阪府立工業高等専門学校・博士(工学))  
編 集 委 員 青木 繁 (東京都立工業高等専門学校・工学博士)  
(五十音順) 阪部 俊也 (奈良工業高等専門学校・工学博士)  
丸茂 榮佑 (明石工業高等専門学校・工学博士)

(所属は編集当時のものによる)

## 刊行のことば

大学・高専の機械系のカリキュラムは、時代の変化に伴い以前とはずいぶん変わってきました。

一番大きな理由は、機械工学がその裾野を他分野に広げていく中で境界領域に属する学問分野が急速に進展してきたという事情にあります。例えば、電子技術、情報技術、各種センサ類を組み込んだ自動工作機械、ロボットなど、この間のめざましい発展が現在の機械工学の基盤の一つになっています。また、エネルギー・資源の開発とともに、省エネルギーの徹底化が緊急の課題となっています。最近では新たに地球環境保全の問題が大きくクローズアップされ、機械工学もこれを従来にも増して精神的支柱にしなければならない時代になってきました。

このように学ぶべき内容が増えているにもかかわらず、他方では「ゆとりある教育」が叫ばれ、高専のみならず大学においても卒業までに修得すべき単位数が減ってきているのが現状です。

私は1968年に高専に赴任し、現在まで三十数年間教育現場に携わってまいりました。当初に比べて最近では機械工学を専攻しようとする学生の目的意識と力がじつにさまざまであることを痛感しております。こうした事情は、大学をはじめとする高等教育機関においても共通するのではないかと思います。

修得すべき内容が増える一方で単位数の削減と多様化する学生に対応できるように、「機械系教科書シリーズ」を以下の編集方針のもとで発刊することに致しました。

1. 機械工学の現分野を広く網羅し、シリーズの書目を現行のカリキュラムに則った構成にする。
2. 各書目においては基礎的な事項を精選し、図・表などを多用し、わかり

ii 刊 行 の こ と ば

やすい教科書作りを心がける。

3. 執筆者は現場の先生方を中心とし、演習問題には詳しい解答を付け自習も可能なように配慮する。

現場の先生方を中心とした手作りの教科書として、本シリーズを高専はもとより、大学、短大、専門学校などで機械工学を志す方々に広くご活用いただけることを願っています。

最後になりましたが、本シリーズの企画段階からご協力いただいた、平井三友 幹事、阪部俊也、丸茂榮佑、青木繁の各委員および執筆を快く引き受けていただいた各執筆者の方々に心から感謝の意を表します。

2000年1月

編集委員長 木本 恭司

# ま え が き

急速に進む技術革新の時代にあって、日夜新しい計測手法、機器、システムが研究され、開発されている。換言すれば新しい測定技術、機器、システムが現代のハイテク技術を支えているともいえる。21世紀は情報技術の時代と予想されているが、計測にかかわる者としては同時に計測技術の時代と考えたい。

21世紀の技術者には情報技術とともに計測技術がこれまで以上に必須のエンジニアリングバックグラウンドとなるにちがいない。

本書は、おもに高等専門学校（高専）および技術系の短期大学、大学で学ぶ機械系学生を対象として今回新たに執筆したものであるが、上記の視点からすべての分野の技術者にも共通的技術入門書として利用できるよう意図した。

計測工学とは、測定技術を基礎とし設定された工業目的を達成するために行われる総合的（システムの）技術の体系であり、機械、電気・電子、化学、…といった分野を縦糸とするなら、これらを横断的につなぎ、編み上げる横糸の体系である。それゆえ、そのバックグラウンドは科学・工学の諸分野に広範に広がっている。

3名の著者は、ともに学生として計測工学を専攻し、その後長く教育・研究の面で計測工学に携わってきたが、しばしば「計測工学がシステムの技術体系でありながらシステム化し難い技術分野である」と感じてきた。かつて、筆者（前田）は、ある研究論文の結言に、「さて、本研究で検討に多様性をもたせた理由の一つは、共通する問題点を把握し、体系的な結論を得るためであった。しかし、この試みは逆に計測技術が個々の測定対象およびその環境条件に密着して、非常に各個性が強く、体系化の難しい問題であることを再認識させる。」と書いたことがあるが、今回の執筆にあたって同じ思いを感じている。

広範なバックグラウンドを体系的に整理することの難しさ、また基本的に個性の高い個々の計測システムから一般性を得ることの難しさを克服して、い

かに「役に立つ入門書」を書くかを私たちなりに模索し、つぎのような指針のもとで原稿作成を進めた。すなわち、全章を通じて

- 1) 計測工学をシステムの技術の体系としてとらえ、情報の獲得と操作という視点で重視する。
- 2) 制御を目的とする計測技術を中心に解説する。
- 3) 計測機器の各論的介绍を避け、できるだけ応用分野の広い基礎測定技術や原理を体系的に解説する。

こととした。

また、現在では大多数の計測機器が電気信号の形で情報操作を行っているとの視点から、4章では基本的な信号処理のための電子回路の解説にもページ数を割いた。

なお、執筆にあたっては、できるだけ抵抗感なく読み進められるよう「読みやすい文体」で書くことにも十分留意した。おもに1~3章を前田が、4章を押田が、5章を木村が、6章の各節を3名がそれぞれ執筆したが、著者による文体の差異が生じないよう前田が最終的に原稿の調整も行った。

本書が、一人でも多くの技術系学生や技術者の方々に、工学基礎としての「計測工学」を学ぶ手がかりとなれば、筆者としてこんなに嬉しいことはない。

執筆を終えるにあたり、執筆の機会を与えていただいた「機械系教科書シリーズ編集委員会」、また発刊に向けて多大のご援助をいただいたコロナ社に心からお礼申し上げます。また、執筆開始から発刊の際には是非、恩師故米持政忠神戸大学名誉教授にご批判を仰ぎたいと思っていたが、先生の急逝により果たせぬこととなった。謹んでご霊前に本書を捧げたい。

2001年1月

前田 良昭

### 改訂版(新SI対応)にあたって

2019年5月に国際単位系(SI)の基本単位の大幅な定義改定が実施され、SI基本単位はすべて基礎物理定数によって定義されることになった。改訂版では、該当する内容を書き直し、新SI対応とした。

2020年7月

著 者

# 目 次

## 1. 計測とその目的

1.1	科学・技術と測定	1
1.2	計測工学とは	3
1.3	計測機器の利用形態	5
1.3.1	工業プロセスや操作の監視	6
1.3.2	工業プロセスや操作の制御	6
1.3.3	実験的工学解析	8
1.4	本書の目的	9

## 2. 計測の基礎

2.1	単位と標準	11
2.1.1	SIの基本単位とその標準	12
2.1.2	物理量間の演算と次元, 次元式	21
2.2	測定的基本的手法	22
2.2.1	直接測定と間接測定	23
2.2.2	絶対測定と比較測定	24
2.2.3	偏位法と零位法	24
2.3	計測の計画と実施—計測システム計画—	26

## 3. 計測データとその処理

3.1	測定誤差	30
3.1.1	誤差の原因	31
3.1.2	測定値の統計的分布	32

3.1.3	誤差の回避・低減	33
3.1.4	偶然誤差の性質と正規分布	34
3.2	測定精度	37
3.2.1	正確さと精密さ	37
3.2.2	計測機器の確度	37
3.3	測定データの統計的処理	39
3.3.1	有効数字	39
3.3.2	算術平均	40
3.3.3	誤差の伝播	43
3.3.4	最小二乗法	46
	演習問題	52

## 4. 計測システムとシステム解析

4.1	計測システムの基本構成	54
4.1.1	情報源	55
4.1.2	検出部	55
4.1.3	信号処理部	56
4.1.4	表示部	56
4.1.5	制御装置	56
4.1.6	信号伝送	56
4.2	計測システムにおける信号変換	58
4.2.1	アナログ信号とデジタル信号	58
4.2.2	アナログ信号処理	59
4.2.3	デジタル信号処理	71
4.2.4	信号の表示と記録, 記憶	95
4.3	計測システムの特性とシステム解析	99
4.3.1	静特性	99
4.3.2	動特性とシステム解析	102
	演習問題	106



## 5. 信号変換の方式とセンサ

5.1	機械式センサ	107
5.1.1	機械的拡大	107
5.1.2	弾性変形	110
5.1.3	サイズモ系	113
5.1.4	ジャイロ効果	117
5.2	電気電子式センサ	119
5.2.1	抵抗変化	119
5.2.2	容量変化	127
5.2.3	電磁誘導	130
5.2.4	圧電効果	135
5.2.5	ゼーベック効果	137
5.3	流体式センサ	139
5.3.1	流体静力学	139
5.3.2	ベルヌーイの定理	140
5.3.3	カルマン渦	147
5.4	光学式センサ	148
5.4.1	光学的拡大	148
5.4.2	光干渉	151
5.4.3	モアレ法	155
5.5	その他の方式	157
5.5.1	ドップラー効果	157
5.5.2	波動の伝搬	158
5.5.3	相関法	161
	演習問題	165

## 6. 計測技術の開発と応用—筆者の研究事例から—

6.1	デジタル画像処理を用いた切削工具刃先形状の測定	166
6.1.1	二次元すくい面画像による工具刃先状態の測定	167

6.1.2	測定システムの構成	170
6.1.3	データ処理の手順	171
6.1.4	試作システムの性能と応用性	176
6.2	温度場と速度場の可視化情報計測	178
6.2.1	感温液晶法	179
6.2.2	可視化実験	179
6.2.3	温度場の計測	180
6.2.4	速度ベクトル場の計測	183
6.2.5	二次元自然対流への適用	184
6.2.6	三次元温度・速度計測	185
6.3	スペックルシアリング干渉法によるたわみ勾配の測定	189
6.3.1	位相シフトスペックルシアリング干渉法	189
6.3.2	位相シフトスペックル干渉法の精度	193
6.3.3	位相シフト誤差の補正	195
	<b>引用・参考文献</b>	198
	<b>演習問題解答</b>	201
	<b>索 引</b>	204

# 1

---

## 計測とその目的

本章では、以後の学習を容易にするため、まず歴史的な考察を含めて工学的な「計測」の意味と意義を明らかにするとともに、本書のねらい（執筆方針）について述べる。

### 1.1 科学・技術と測定

測定（測る）という言葉の定義や概念は次節に譲るとして、本書を読まれる方はだれでも測る（観測する）ということが自然科学の分野では重要なこと、あるいは不可分なことを認識されていると思う。

本書を執筆するにあたって、まずこの点から科学技術史を眺めてみた。湯浅光朝著『解説 科学文化史年表』（中央公論社、1950）<sup>1)</sup>によれば、科学の端緒はギリシャ植民地のイオニア諸都市の一つ、ミレトス市のタレス（BC 624～546）によって開かれたとあるが、すでに BC 4000 年ごろからエジプトやバビロニアなどで史学者が「擬科学」と名付けた「天文学」、「数学」、「医学」、「化学」などの実学（技術）が芽生えていたといわれている。これらが精密な天体観測や人体観察、実験などによっていたことは想像に難くない。すなわち、この当時からわれわれは「測ることによって知識・技術を得ていた」のである。

また、ギリシャ科学（古代科学）の最大の代表者であるアリストテレス（BC 384～322）は科学的自然認識を初めて確立した人として特記されるが、

---

† 肩付番号は巻末の引用・参考文献番号を示す。

「観察を伴わぬ自然科学的理論は空虚である」と述べている。この実証主義的自然科学観の確立によって、科学と測る（観測する）ことは不可分の関係となったと考えられる。

時代を経て、15世紀末から16世紀にかけて近代科学精神がぼつ興する。近代技術・科学の先駆者と位置付けられる、レオナルド・ダ・ビンチ（1452～1519）の広範な業績は彼が「知識とは事実の集成であり、それは合理的方法（実験観察）で真実なり存在なりが確証できる」という科学的探求法を把握していたことを物語っている。17世紀は「天才の時代」と呼ばれるが、ガリレイ（1564～1642）、ケプラー（1571～1630）、パスカル（1623～1662）、ニュートン（1642～1727）などが近代科学の方法を確立したといわれる。ニュートンが万有引力の法則を発見したきっかけとされる「りんご」の逸話は、観測（測定）することが科学の基礎であることを物語っている。忘れてならないことは、この時代に望遠鏡、顕微鏡、温度計、気圧計、振り子時計といった多くの新しい「測定機器」が開発されたことである。これらの機器が新しい科学を産み、新しい科学が新しい機器を求めたのであろう。科学と技術が車の両輪となったことを象徴している。ガリレイは「測り得るものは総て<sup>すべ</sup>測り、未だ<sup>いま</sup>測り得ぬものは測り得る<sup>ごと</sup>如くしよう」と言っている。

これに続く18世紀は周知のように産業革命の世紀である。新しい科学的方法をバックボーンとして近代技術の時代が始まった。先に名前をあげたパスカルは「人間は考える<sup>あし</sup>葦である」と言ったことでも知られているが、同じく「測ることは経済化することである」との言葉を残している。この言葉に象徴されるように、測定や計測なくして近代技術の進展は語れない。従来<sup>従来</sup>の技術と近代技術の相違点を、互換性や品質保証、精度や生産性の向上などにあると考えれば、「測る」ことがどれほど近代技術に寄与しているかがよく理解できるだろう。

## 1.2 計測工学とは

著者の記憶では、計測 (instrumentation) あるいは計測工学 (instrumentation engineering) という言葉が身近で使われるようになったのは、1950年代に入ってからではないかと思う。1956年に国立大学の工学部で初めて神戸大学に計測工学科が誕生している。当時はまだ一般の人には馴染みが薄く「計測工学科とは土木測量の勉強をするところですか」とか、「<sup>はかり</sup>秤の学問ですか」といった誤解も日常的であったようだ。

ときを経て、今日では少なくとも工業技術者の間では「計測」という用語はすっかり定着し、理解されたように思える。書店の工学専門書の棚には「計測」という文字を含む表題の書籍が多数見受けられるし、近年の技術革新はコンピュータ技術の進歩普及とともに計測技術の進歩に負うところが大きいといわれているが、「計測」の意味が果たして正確に理解されているのだろうか。

本書では、この点をまず再確認したうえで、執筆を進めたいと思う。

私たちの周りでは、「計測」という用語と同じような意味を持つ用語がかなり使われている。最も代表的なものが「測定 (measurement)」であり、そのほか、「計量」, 「測量」, 「観測」などがある。いずれも「計る」, 「測る」, 「量る」(それぞれ「はかる」と読む)などの漢字を含む用語で、世間一般ではほとんど大差ない意味で使われているが、技術用語としては少しずつ異なった意味を持って使われている (現実には技術者の間でも混乱して使われている)。

以下は JIS の技術用語集<sup>2)</sup>などを参考に、これらの用語の意味を整理したものである。

**計測** (instrumentation)    なんらかの目的を持って、事物を量的にとらえるための方法・手段を考究し、実施し、その結果を用いること。

**測定** (measurement)    ある量を、基準として用いる量と比較し、数値または符号を用いて表すこと。

**計量**    公的に取り決めた標準を基礎とする計測を計量ということがある。

#### 4 1. 計測とその目的

**観測 (observation)** ある事象を調べるために、事実を認める行為。自然現象については、測定を意味することがある。

**測量 (surveying)** 地球表面上にある各地点間の距離、角度、高低差などを測定し、対象物の位置あるいは形状を定める技術。

以上からわかるように、「測定」(もっと広い意味では「観測」)が最も基本的な行為で、「測量」や「計測」はその応用技術と理解できる。上記の定義に注目すれば、「計測」という行為、技術には、1) なんらかの目的があること、2) 量的にとらえる(測定)手法を検討・実施すること、3) その結果を目的のために用いること、が含まれなければならないから、「計測」そのものがプロセス(過程)的であり、システム的概念と考えられる。なんの目的もなしに測定することもめったにないだろうが、ここでの目的はおもに工学的(工業的)なものに限定して用いて差し支えない。さらに、「計測制御」という表現(四文字熟語)がしばしば用いられることから理解できるように、一般には機械や装置の制御を目的とした計測がきわめて多い。周知のように計測を抜きにして制御を実現することは難しい。

図 1.1 は水タンクの水位を一定に保とうとする試みを示したものである。

1) 目的は水位を一定に保つことである。出水側の負荷変動が生じたとき生じる水位変動を防ぐためには、まず水位変動を知る(測る)必要がある、2) 基

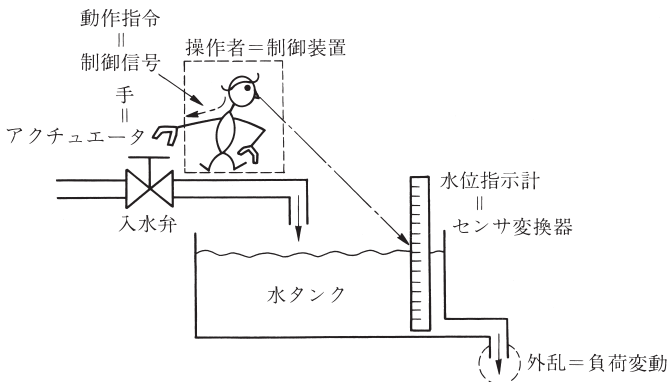


図 1.1 水タンクの水位制御

準水位を示す標尺を用いる，さらに細かな目盛を付けた標尺を用いる，浮子式の水位指示計を用いる，…，など適切な手法を検討して水位変動を測定し，つぎに，3) 基準水位より増えれば（減れば）入水弁を閉じて（開けて）入水流量を減じ（増し）て基準水位を保つよう操作する。すなわち，得られた結果を設定した目的のために用いている。

また，通常は「測量」の範ちゅうに入る技術も，必要に応じて計測システムの一部に利用されている。例えば，**図 1.2** は船舶や車両の位置制御のために **GPS** (global positioning system, **汎地球測位システム**) を用いたもので，最近では民生用のものが身近で利用されているが，GPS 自体はもともと土木測量に利用された技術から開発されたものである。

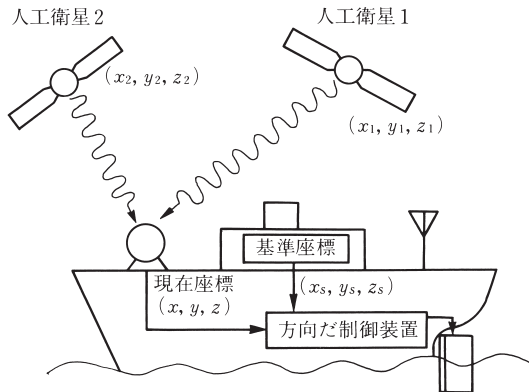


図 1.2 GPS による航路制御

### 1.3 計測機器の利用形態

前節に示した計測の定義に基づいて，もう少し詳しく計測の「目的」について整理しておこう。

計測機器の利用形態を，ここではつぎの三つに大別してみる。

- (1) 工業プロセスや操作の監視。
- (2) 工業プロセスや操作の制御。

# 索 引

**【あ】**

圧縮係数	144
圧電気率	135
圧電効果	135
圧電素子	136
アッペの原理	108
アナログ信号	58
アナログ量	58
アボガドロ数	19
アボガドロ定数	19
アンドサンプリング	74
アンペア	17

**【い】**

位相アンラッピング	191
位相回転因子	92
移相回路	70
位相検波回路	69
位相シフト誤差	195
位相シフトスペクトル シアリング干渉法	189
位相シフト法	189
位相ずれ	103
位相変調	57
一次回折光	190
移動平均法	43, 49, 87
イメージメモリ	170
色三角形	181
色知覚の3属性	181
色の三属性	182
色分解	181
インタフェースユニット	59
インパルス応答	102

**【う】**

ウィーナー・ヒンチンの関係	85
渦電流	131
渦電流形センサ	134
薄肉レンズ	149

**【え】**

エリアシング誤差	75
エルゴード的	84
演算増幅器	60
遠心調速機	10
円筒旋削実験	176

**【お】**

オシロスコープ	97
オーバサンプリング	73
オブティメータ	150
オームの法則	23
重み関数	87
オリフィス	143
温度誤差	31
温度センサ	6
温度場	178

**【か】**

外界センサ	7
回帰直線	183
回折格子	189, 195
階調分解能	176
開ループ形	25
ガウスの誤差伝播の法則	44
ガウス分布	36

角周波数	85
確 度	38
確 率	34, 46
確率変数	34
確率密度	34
確率密度関数	34
加工精度	166
可視化画像	178, 181, 184
過失誤差	31, 33
荷重計	123
画像処理	167
画像相関	186
画像相関法	163, 183
加速度ピックアップ	114
画素分解能	176, 183
偏 り	31
カットオフ周波数	64
可動コイル形計器	95
過渡応答法	102
カラー画像処理	181
カラー画像処理技術	179
カルマン渦	147
カルマン渦流量計	147
感温液晶法	178
感温液晶粒子	179
感温液晶粒子懸濁法	179
干渉計	152, 189
干渉縞	152, 192
慣性モーメント	52
間接測定	23, 43
観 測	3, 4
観測式	49
観測値	48
カンデラ	20
感 度	100



**【き】**

擬科学 1  
 帰還操作 6  
 機器誤差 31, 37  
 器差 38  
 規準化相互相関関数 187  
 規準正規曲線 36  
 規準正規分布 36  
 気柱共鳴装置 52  
 輝度値 176  
 基本単位 12  
 逆相アンプ 60  
 逆相入力 60  
 境界摩耗溝 178  
 ギリシャ科学 1  
 切れ刃プロフィール 173  
 記録計 96  
 キログラム 16  
 金属温度計 113

**【く】**

空間相関 186  
 空気マイクロメータ 145  
 偶然誤差 31, 32, 34, 43  
 屈折 148  
 屈折率 148  
 組立単位 12  
 クレータ摩耗 166  
 クレータ摩耗マップ 171, 172  
 クロマ 181

**【け】**

計数形検波器 68  
 計数器 98  
 計測 2  
 計測工学 2  
 計測システム系 54  
 計測制御 4  
 系統的誤差 31, 33  
 計量 3  
 ゲージ圧 139

ケルビン 18  
 原器 13  
 原子周波数標準 16  
 検出部 55  
 減衰傾度 64  
 減衰比 114  
 顕微鏡 151

**【こ】**

高域フィルタ 65  
 工学単位系 27  
 工具顕微鏡 170  
 工具刃先 166  
 格子間隔 195  
 光軸 149  
 校正 100  
 校正曲線 100  
 較正検査 33  
 校正検査 33  
 合切削方向 168  
 高速フーリエ変換アルゴリズム 93  
 光度 20  
 光波の干渉 151  
 互換性 2, 12  
 国際温度目盛 19  
 国際キログラム原器 16  
 国際ケルビン温度 19  
 国際セルシウス温度 19  
 国際単位系 12  
 国際標準化機構 12  
 黒体放射 19  
 誤差 30, 40  
 誤差関数 34  
 誤差曲線 34  
 誤差等分の原理 45  
 誤差の限界 45  
 誤差の最大限度 39  
 誤差の3公理 34, 41  
 誤差の伝播 43  
 誤差率 31, 45  
 個人誤差 32

古代科学 1  
 コーナ部 167  
 コヒーレント 22  
 固有円振動数 114  
 コレステリック液晶 179  
 コンデンサマイクロホン 129

**【さ】**

差圧式流量計 143  
 最下位ビット 79  
 最確推定値 31, 41  
 最確値 47, 52  
 最上位ビット 79  
 最小二乗法 47, 53  
 サイズモ系 113  
 彩度 181  
 差動アンプ 60  
 差動変圧器 132  
 サーミスタ 126  
 サーモスタット 112  
 産業革命 2  
 残差 33, 41  
 三次元速度ベクトル分布 187  
 算術平均値 40  
 サンプリング 71  
 サンプリング回路 72  
 サンプリング定理 72  
 サンプル値 71

**【し】**

シアリング干渉計 189  
 時間 16  
 視感度 20  
 時間平均 82  
 しきい値 68, 173, 183  
 色相 181  
 磁気テープ記録器 98  
 色度座標 181  
 時空間相関法 186  
 次元 21  
 —の指数 22

次元式	21	信号処理部	56	絶対測定	24
時 刻	16	信号伝送	56	ゼーバック効果	137
——の標準	16	真の値	30, 32, 40, 46	ゼロクロッシングディ	
自己相関関数	85	振幅変調	57	テクタ	68
指示計	96			線形システム	102
二乗演算処理	68	<b>【す】</b>		線形処理	59
指示量	100	垂直応力	111	センサ	55
指 針	25	垂直ひずみ	111	せん断応力	111
指針形測定器	25	すくい面画像	168	せん断ひずみ	111
システムの出力	6	すくい面	167	線膨張誤差	32
システムの技術	9	すくい面等高図	176		
自然標準	14	ステップ応答	102	<b>【そ】</b>	
実効刃先丸み	177	ストローハル数	147	相関係数	183
実証主義的自然科学観	2	スネルの法則	148, 149	相関法	162, 183
質 量	25, 27	スプライン	172	総合誤差	38
——の単位	16	スペックル	189, 191	総合精度	38
自動制御システム	6	スメクティック液晶	179	総合的技術	9
時不変系	102			相互相関関数	85, 161, 183
絞 り	143	<b>【せ】</b>		相互相関係数	161
縞走査法	154	正確さ	37	相互誘導	130
ジャイロスコープ	117	正確度	37	走査光切断法	167
遮断周波数	64	正規分布	35	相對誤差	31
尺貫法	27	正規分布表	36	相對頻度	34
集合平均	83	正規方程式	48, 49	増 幅	60
周波数応答	103	制御装置	56	測光量	20
周波数応答法	102	制御量	6	測 定	3
周波数伝達関数	104	生産性	2	測定誤差	31
周波数特性	103	正相入力	60	測定対象	30
周波数変調	57	静電変換方式	129	測定値	30, 46
周波数領域法	87	静電容量	127	測定範囲	101
周方向補間	185	静電容量形センサ	128	測定量	43, 99
重 量	27	精 度	2, 37	速度場	178
蒸気機関	10	静特性	99	速度ベクトル分布	183
乗算回路	67	精密さ	37	測 量	3, 4
焦点距離	149	精密度	37	ソナー	159
情報源	55	積算被爆量監視用フィルム			
除算回路	68	バッヂ	6	<b>【た】</b>	
ショット雑音	82	積算平均化処理	87	帯域消去フィルタ	66
自律化	8	積分処理	63	帯域フィルタ	65
試 料	33	切削加工	166	帯域幅	59
試料標準偏差	36, 52	切削状態	166	ダイナミックレンジ	59, 194
試料平均	33	絶対圧力	139		
試料平均値	52	絶対誤差	30		

タイムコード	17
ダイヤフラム式圧力計	111
ダイヤルゲージ	109
卓上計算機	51
タコジェネレータ	131
畳込み	70
畳込み演算	87
ダミーゲージ	122
たわみ勾配	189, 191, 193
単位	11
単位系	12
短波 JJY 形式	17
<b>【ち】</b>	
チェビシェフフィルタ	65
知能化	8
チャバック	7
超音波	158
超音波受信器	136
超音波探傷機	160
超音波流量計	158
長波 JJY 形式	17
直接測定	23
直線性	100
直線補間	172
直送法	57
<b>【て】</b>	
低域フィルタ	64
定温度法	125
定義定点	19
抵抗変化変換方式	125
抵抗率	119
デジタル画像	167
デジタル画像処理	178
デジタル信号	58
定常的	83
呈色温度域	179
定電流法	125
データレコーダ	98
電圧ホロワ	61
天才の時代	2
電磁オシログラフ	96

電子式スペックル干渉法	189
電磁流量計	133
電卓	51
伝達関数	115
天秤	25
<b>【と】</b>	
同期整流	133
統計的データ処理法	34
同相アンプ	60
同相入力弁別比	62
動電変換方式	135
動特性	102
ドップラー効果	157
ドップラー速度計	157
トランジェントレコーダ	98
トランスデューサ	55
ドリフト	31
トレーサ粒子追跡法	183
<b>【な】</b>	
内界センサ	7
ナイキストの折返し周波数	73
長さの標準	15
<b>【に】</b>	
二乗平均平方根値	36
ニューラルネットワーク	185
<b>【ね】</b>	
熱雑音	82
熱線流速計	124
熱電対	137, 181
熱膜流速計	124
熱力学温度	19
熱流体場	179
ネマティック液晶	179
粘性減衰係数	114

<b>【の】</b>	
濃度	181
ノズル	144
<b>【は】</b>	
ハイパスフィルタ	65
バイメタル	112
バイモルフ構造	136
白色雑音	86
パソコンツール	53
パーソナルコンピュータ	51, 170, 192
バタフライ演算	94
バターワースフィルタ	64
パターンマッチング	161
ばね秤	25
ばらつき	32
パワースペクトル密度	85
反 射	148
搬送波	57
汎地球測位システム	5
反転アンプ	60
反転入力	60
バンドエリミネート フィルタ	66
バンドパスフィルタ	65
万能投影機	151
<b>【ひ】</b>	
ピエゾ電気効果	135
非エルゴード的	84
比較測定	24
光てこ	149
光標準	15
光ヘテロダイン干渉	151
光ヘテロダイン法	154
ヒステリシス差	101
ひずみ	189
ひずみゲージ	120, 189
非線形処理	59
ピッチ	117
非定常的	84

ビトープ管	142	フレミングの右手の法則	140
ビトープ管係数	143		130
非反転アンプ	60	プロセス	4
非反転入力	60	分解能	101
微分回路	63	分散	84
微分処理	63		
ヒューマノイド型自律		<b>【へ】</b>	
ロボット	7	平滑化処理	87
秒	16	平均値	45
表計算ソフト	51	閉ループ形	25
表示部	24, 56	ベッセルフィルタ	64
標準	11, 13	ベルヌーイの定理	141
標準器	13	ベローズ式圧力計	111
標準尺	24	変位センサ	128
標準単位	36	変位ピックアップ	116
標準電波報時システム	16	偏位法	24
標準偏差	36, 43, 45, 46, 84, 183	ペン書きオシログラフ	96
標準化	71	変換	55
標準化誤差	72	偏差	33, 41
品質保証	2	ベンチュリ管	144
		<b>【ほ】</b>	
<b>【ふ】</b>		ポアソン比	119
ファラデーの電磁誘導の		ホイートストンブリッジ	122
法則	130		122
フィードバック制御	25	ホイートストンブリッジ回路	23, 25
フィードバック操作	6	望遠鏡	151
フィルタ	63	放射の強さ	20
複合映像信号	170	報時用標準周波数局	17
副尺	151	母集団	33
フックの法則	111	ボーデ線図	104
物質質量	20	ポテンシオメータ	120
ブートストラップ	61	母平均	33
ブラウン管	97, 98	ホールド回路	72
フランク摩擦	166, 168		
フランク摩擦幅	169	<b>【ま】</b>	
フランク摩擦マップ	173	マイクロコンピュータ	51
フーリエ逆変換	92	マイクロホン	125, 135
フーリエ変換	85, 91	マイクロメータ	110
ブルドン管式圧力計	111	マイケルソン干渉計	152
フレキシブル加工システム	167	マイコン	51
フレミングの左手の法則	131	前逃げ面	167
		マノメータ	140
		摩擦特性値	166
		摩擦プロフィール	174
		マンセル表色系	181
		<b>【み】</b>	
		ミラー積分回路	62
		<b>【む】</b>	
		無次元量	22
		<b>【め】</b>	
		明度	181
		メートル	15
		メートル原器	15
		メートル法	27
		目盛	25
		面積式流量計	144
		<b>【も】</b>	
		モアレ効果	192
		モアレ縞	155
		モアレトポグラフィ	156, 167
		モアレ法	156
		目量	109
		モル	19
		<b>【や】</b>	
		ヤードポンド法	27
		ヤング率	52, 111, 124
		<b>【ゆ】</b>	
		有効けた	39
		有効数字	39, 52
		誘電率	128
		遊動おもり	10
		<b>【よ】</b>	
		ヨー	117
		要素粒子	20
		横切れ刃角	169
		横弾性係数	111, 124

横逃げ角	169	量子化誤差	76, 194	レートジャイロ	117
横逃げ面	167	量子化雑音	76	レート積分ジャイロ	119
横倍率	150	理論誤差	31	レベルコンパレータ	68
4ステップ位相シフト法	190			連続の式	140
		<b>【る】</b>		レンツの法則	130
<b>【ら】</b>		累積切削時間	176		
ラプラシアン処理	173			<b>【ろ】</b>	
		<b>【れ】</b>		ロータメータ	144
<b>【り】</b>		零位法	24	ロックインアンプ	69
リサージュ図形	98	レイノルズ	142	ロードセル	123
離散フーリエ変換対	92	レイノルズ数	141, 142	ローパスフィルタ	64
粒子画像流速計測法	163	レイリー数	184	ロール	117
流量係数	144	レーザドップラー流速計			
量子化	75		105		
<hr/>					
A-D 変換器	59	FFT	51	NTC	126
AM 変調	57	FFT アルゴリズム	93	OP アンプ	60
BEF	66	FM 変調	57	PIV	163
BPF	65	GPS	5	PM 変調	57
B-スプライン関数	185	HPF	65	PSD	69
Carre の方法	196	ISO	12	PTC	127
CCD カメラ	192	ITS	19	PZT	195
CMRR	62	J.ワット	10	R-2 R ラダー形	81
CPU	51	LDV	105	RMS 値	36
CTR	127	LPF	64	SI	12
D-A 変換器	59	LSB	79	SI 単位系	27
DFT 対	92	LVDT	132	U 字管マノメータ	140
DSP	58	MSB	79	Wilkinson の中ぐり盤	10

— 著 者 略 歴 —

前田 良昭 (まえだ よしあき)

1966年 神戸大学工学部計測工学科卒業  
1968年 神戸大学大学院修士課程修了  
(計測工学専攻)  
1978年 工学博士 (大阪大学)  
1987年 明石工業高等専門学校助教授  
1990年 明石工業高等専門学校教授  
2006年 明石工業高等専門学校名誉教授  
2019年 逝去

木村 一郎 (きむら いちろう)

1968年 神戸大学工学部計測工学科卒業  
1968年 光洋精工株式会社勤務  
~69年  
1972年 神戸大学大学院修士課程修了  
(計測工学専攻)  
1983年 工学博士 (大阪大学)  
1984年 神戸大学助教授  
1993年 大阪電気通信大学教授  
2014年 大阪電気通信大学名誉教授

押田 至啓 (おしだ よしひろ)

1975年 大阪府立大学工学部機械工学科卒業  
1981年 大阪府立大学大学院博士課程修了  
(機械工学専攻), 工学博士  
1987年 奈良工業高等専門学校助教授  
2000年 奈良工業高等専門学校教授  
2016年 奈良工業高等専門学校名誉教授

計 測 工 学 (改訂版) — 新 SI 対応 —

Instrumentation Engineering (Revised Edition) © Y. Maeda, I. Kimura, Y. Oshida 2001

2001年 3月16日 初版第1刷発行

2020年 9月25日 初版第21刷発行 (改訂版)

検印省略

著 者 前 田 良 昭  
木 村 一 郎  
押 田 至 啓  
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 978-4-339-04485-0 C3353 Printed in Japan

(金)



＜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。