

高校数学でマスターする
計測工学
——基礎から応用まで——

博士(工学) 小坂 学
博士(保健学) 岡田 志麻 共著

コロナ社

まえがき

本書は、『高校数学でマスターする電気回路』と『高校数学でマスターする制御工学』の続編で、前書と高校数学の知識で、計測工学をマスターできるように書かれています。ものさしで長さを測ったり、食材の重さを測って料理したり、スマートフォンが重力を測って画面の向きを回転させて上を向いたり、ロボットカーが画像計測して無人で運転するなど、多くのところで計測工学が役立っています。私たちが快適に生活するために、計測工学はいまや欠かせないものになっています。

そんな計測工学をしっかりと理解できるよう、本書はつぎの3編に分かれています。

- (1) 「わかる編」
- (2) 「ナットク編」
- (3) 「役立つ編」

「わかる編」では、計測工学の基礎となる、単位、測定誤差、測定値の関数近似、周波数解析、計測回路について説明します。

「ナットク編」では、「わかる編」で理解したことをしっかり納得するために、その理論的裏付けを行います。高校数学の知識で理解できるように丁寧^{ていねい}に解説しています。

「役立つ編」では、「わかる編」で学習した内容を実際の計測の場面で応用できるように、代表的なセンサとセンシング方法について実例を用いて紹介します。身の回りで計測工学が役立っていることを実感できるように説明しています。

2016年1月

小坂 学
岡田 志麻

目 次

—— Part I 【わかる編】 ——

1. SI単位と測定誤差を「わかる」

1.1 国際単位系	1
1.1.1 SI基本単位とSI組立単位	2
1.1.2 SI基本単位	2
1.1.3 SI組立単位	5
1.1.4 SI単位と併用できる非SI単位	18
1.1.5 単位の接頭語	18
1.1.6 単位の次元	20
1.2 測定の誤差と精度	21
1.2.1 測定の種類	21
1.2.2 有効数字	23
1.2.3 計算誤差	25
1.2.4 アナログ測定器とデジタル測定器の許容差	30
1.2.5 微小量 ϵ の計算の近似	32
1.2.6 許容差と四則演算	34
1.2.7 測定誤差と統計的処理	39

2. 最小二乗法による関数近似を「わかる」

2.1 最小二乗法とは	55
2.2 平均 $y = a$	56
2.3 直線近似 $y = ax + b$	57
2.4 多変数一次式 $y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + \cdots + a_mx_m$ への近似	59
2.5 最小二乗法の適用範囲の拡大	62
2.5.1 指数関数	62
2.5.2 高次方程式	62
2.5.3 微分方程式	63
2.5.4 差分方程式	63

3. フーリエ変換による周波数解析を「わかる」

3.1 周波数解析とは	64
3.2 相関関数	64
3.2.1 自己相関関数	64
3.2.2 相互相関関数	65
3.2.3 相関係数と最小二乗法	66
3.2.4 正弦波の相関関数	67
3.3 フーリエ解析	70
3.3.1 フーリエ級数	70
3.3.2 フーリエ変換	72
3.3.3 フーリエ変換による周波数解析	74

4. 計測回路を「わかる」

4.1 計測制御システムとは	77
4.1.1 計測制御システムとしての電気自動車	77
4.1.2 計測システムとしての電子体温計	79
4.2 ひずみゲージとブリッジ回路によるひずみ計測	81
4.3 オペアンプを用いた計測回路によるアナログ信号処理	84
4.3.1 オペアンプとは	84
4.3.2 実際のオペアンプ	86
4.3.3 非反転増幅器	87
4.3.4 反転増幅器	88
4.3.5 ボルテージフォロワ	90
4.3.6 電流電圧変換器	91
4.3.7 加 算 器	92
4.3.8 D-A 変換器と A-D 変換器	93
4.3.9 差 動 増 幅 器	94
4.3.10 計 装 ア ン プ	97
4.3.11 計装アンプの応用例	98
4.3.12 アイソレーションアンプ	100
4.3.13 フォトカプラ	101
4.3.14 シュミットトリガ	101
4.3.15 整 流 回 路	104
4.4 ノイズ除去で役立つフィルタ	107
4.4.1 フィルタとは	107
4.4.2 パッシブフィルタ	109
4.4.3 オペアンプを用いたフィルタ回路	113

4.4.4	二次以上の LPF と HPF	116
4.4.5	バンドパスフィルタとバンドエリミネーションフィルタ	120
4.4.6	ノッチフィルタ	121
4.5	ノイズ対策	124

—— Part II 【ナットク編】 ——

5. わかる編を理論的に裏付けて「ナットク」する

5.1	1章の SI 単位と測定誤差を「ナットク」する	126
5.1.1	微分と積分	126
5.1.2	確率分布の離散型から連続型への変換	127
5.1.3	正規分布から標準正規分布への変換	128
5.1.4	極座標への座標変換とヤコビアン	129
5.1.5	正規分布の全面積が 1 になることの証明	132
5.1.6	正規分布の μ が母平均であることの証明	133
5.1.7	正規分布の σ が標準偏差であることの証明	134
5.1.8	ガウスの誤差伝播則の導出	136
5.2	2章の最小二乗法による関数近似を「ナットク」する	137
5.3	3章のフーリエ変換による周波数解析を「ナットク」する	138
5.3.1	$\sin A \sin B = \frac{1}{2} (\cos(A - B) - \cos(A + B))$ の証明	138
5.3.2	フーリエ級数から複素フーリエ級数への変形	139
5.4	4章の計測回路を「ナットク」する	142

—— Part III 【役立つ編】 ——

6. 各種センサとセンシングが「役立つ」

6.1	センサ	144
6.1.1	センサシステム	145
6.1.2	人間とセンシングシステム	146
6.2	A-D変換器によるセンサデータの計測	147
6.2.1	計測対象との接続	147
6.2.2	量子化とその誤差	148
6.2.3	入力方式	150
6.2.4	サンプル周波数の決定	151
6.2.5	変換時間とチャンネル数	152
6.3	抵抗変化型センサ	154
6.3.1	ひずみゲージの原理	154
6.3.2	ひずみゲージを利用した力計測	157
6.3.3	温度センサ	161
6.4	加速度センサ	165
6.4.1	加速度センサの基本原理	165
6.4.2	ひずみゲージ式加速度センサ	167
6.4.3	圧電型加速度センサ	168
6.4.4	ピエゾ抵抗型加速度センサ	169
6.4.5	静電容量型加速度センサ	170
6.5	光計測	171
6.5.1	光の性質とその利用	171

6.5.2	光を利用したセンシング	171
6.6	超音波センサ	172
6.7	RFID	174
6.8	画像計測	175
6.8.1	動画とは	175
6.8.2	画素とは	176
6.8.3	画像処理	177
6.9	オペアンプや差動増幅器の生体計測への応用例	180
6.9.1	生体電気信号とは	180
6.9.2	生体計測の問題点	180
6.9.3	筋電図計測回路の実例	183
6.10	複数のセンサを用いた計測	185
6.10.1	センサフュージョン	185
6.10.2	アクティブセンシング	186
	引用・参考文献	187
	索引	188

—— Part I 【わかる編】 ——

1

SI単位と測定誤差を「わかる」

本編では、計測の基礎を理解しよう。

ものさしで長方形の2辺の長さを測り、その面積を求めることを想像してほしい。そのためには、長さの単位、ものさしの誤差、その誤差と面積の関係、複数回測定したときの取扱いの理解が必要である。工学の実験では、面積だけでなく、力やひずみなども計測する。本編ではこれらに加え、ばねの変位と重さを測定してばね定数を求める手法や、ひずみ計測などを行うための信号処理と回路などについて理解しよう。

1.1 国際単位系

国際単位系 (International System of Units, あるいは^{エスアイ}SI) は、世界中のほとんどの国で通用する単位である。もともとは18世紀末のフランス革命後のナポレオンの時代に制定されたメートル法が^{もと}基になっている。その時代はフランス国内の都市ごとに単位が異なっていたため、都市間の商品の売買が盛んになるにつれ、単位換算について非常に混乱していた。革命後は古いものを捨て、新しく^{ざんしん}斬新なものを好む時期でもあったため、地球の子午線^{しごせん}の長さの4000万分の1を1メートルとする単位が新しくつくられた。当時の最新技術を駆使して世界一周したときの距離を測り、それを基に単位を決めたのである。そして10cmの立方体の体積の水の質量を1kgとした。国際的な貿易が盛んになるにつれ、単位換算で混乱しないようにするために、国際的に通用する単位系をもつ必要

性が増した。そこで、フランスは1 mの棒(メートル原器)と1 kgの塊^{かたまり}(キログラム原器)をつくり、それらをメートル法を採用した国に送って普及^{ふきゅう}に努めた。その結果、現在ではほぼすべての国で採用されている。昔の日本では長さの単位に尺^{しやく}(約30 cm)、質量の単位に貫^{かん}(4 kg弱)を使用する尺貫法^{しやくかんほう}を使用していた。ちなみに、1尺は人の肘から手首までの長さ(その部分の骨は尺骨^{しやくこつ})に由来し、1貫は錢1000枚を束ねたときの重さであった。明治時代にメートル法を導入し、第二次世界大戦後に尺貫法を用いた取引を法律で禁じたため、現在ではほぼ完全に普及している。ここでは、メートル法を発展させて国際的に定めた国際単位系を理解しよう。

1.1.1 SI 基本単位と SI 組立単位

国際単位系には七つのSI基本単位(SI base units)と、それらを組み合わせて定義されるSI組立単位(SI derived units)とがある。

- ・ SI基本単位 力学量(長さ L [m], 質量 M [kg], 時間 T [s]), 電流 I [A], 温度 θ [K], 物質質量 n [mol], 光度 I_v [cd] の七つである。
- ・ SI組立単位 SI基本単位を組み合わせた単位である。例えば速度(=距離÷時間)の単位 m/s は、長さ L と時間 T を組み合わせたSI組立単位である。

基本単位をもつ物理量を基本量, 組立単位をもつ物理量を組立量という。

1.1.2 SI 基本単位

表 1.1 に七つのSI基本単位とその説明を示す。それらの定義は国際度量衡委員会(CIPM)によって何度か修正されている。科学技術が発展して、より正確に計測できるようになるたびに、新しい正確な定義に修正してきたのである。2018年に採用される予定の定義を順に理解しよう。

(1) 時間 T [s] (秒) 昔の秒の定義は、日時計に基づいていた。つまり日時計の影が1回転する時間を1日とし、1日を24時間, 1時間を60分, 1分

表 1.1 SI 基本単位

物理量	単位	説明 (定義ではない)
時間 T	s (秒)	1 日は 24 時間, 1 時間は 60 分, 1 分は 60 秒
長さ L	m (メートル)	地球の子午線の長さの 4000 万分の 1 (片道 1 秒で揺れる振り子の長さ)
質量 M	kg (キログラム)	1 L の水の質量が 1 kg
電流 I	A (アンペア)	電子が 1 秒に 6.24×10^{18} 個流れると 1 A
温度 θ	K (ケルビン)	水の融点 0°C と沸点 100°C の温度差の 100 分の 1 が 1K
物質質量 n	mol (モル)	1mol は粒子 6.02×10^{23} 個 (アボガドロ定数) の集まり
光度 I_v	cd (カンデラ)	ろうそく 1 本の明るさ

を 60 秒として, 1 日の ($24 \times 60 \times 60$) 分の 1 が 1 s であった。しかし日時よりも正確に時間を計測できるセシウム原子時計が発明された。その原子時計でチェックすると, 日時計には約 $1/10^8$ s (3 年に 1 秒) の誤差があることがわかった。そこで, 現在ではセシウム原子時計で測った 1 秒間を, 1 s の定義としている。その誤差は約 $1/10^{14}$ s (300 万年に 1 秒) である。将来, もっと正確に 1 秒を測る手段が発明されれば, それに定義が置き換わるだろう。

セシウム原子時計の仕組みを理解しよう。ある状態のセシウム 133 に周波数 9 192 631 770 Hz のマイクロ波を当てると発光する性質がある。これを利用して, 発光したときに当てたマイクロ波が 9 192 631 770 回振動する時間を 1 s とするのである。

1 分が 60 秒であるのは, 紀元前のバビロニア時代に使われていた 60 進法のなごりである。1 日が 24 時間であるのも, それよりも古いエジプト時代に使われていた 24 進法のなごりである。日本では国際単位系を導入する以前の江戸時代まで, 1 日を 12 に分け, 時刻に十二支(ね, うし, とら, ...) の名を付けていた。例えば「うしの刻」は午前 1 時から午前 3 時頃までの間であった。

時間 T の単位の精度は, ほかの単位に依存しない。

4 1. SI 単位と測定誤差を「わかる」

(2) 長さ L [m] (メートル) 真空中の光は 1 秒に約 30 万 km (299 792 458 m) 進む。そこで、距離 = 速度 × 時間の関係から、真空中の光が 299 792 458 分の 1 秒に進む距離を 1 m と定義する。

長さ L の単位の精度は、時間 T に依存する。

(3) 質量 M [kg] (キログラム) 光は波と粒子の両方の性質をもつ。粒子とみなしたとき、その 1 粒を光子という。光子がもつエネルギーと等価な質量と関連づけてキログラムを定義するために、つぎの物理法則を利用する。

$$\text{光子のエネルギー} = \text{プランク定数} \times \text{光子の周波数}$$

$$\text{光子のエネルギー} = \text{光子の質量} \times \text{光速の二乗}$$

これらより質量は、プランク定数、光子の周波数、光速の三つに関係する。この関係によって 1 kg を定義する。

周波数は時間に依存し、速度は距離と時間に依存する。そのため、質量 M の単位の精度は、長さ L と時間 T に依存する。

(4) 電流 I [A] (アンペア) 単位の A は、人名のアンペアの頭文字である。単位が人名の場合は大文字、それ以外は小文字にする。そのため、秒 s を S と書いたり、キログラム kg を Kg と書いたりするのは間違いである。

電子が 1 s に $n \simeq 6.24 \times 10^{18}$ 個流れると 1 A である。この関係を用いて、電子 1 個が 1 s に 1 個流れたときの電流を $\frac{1}{n} = 1.602\ 176\ 565 \times 10^{-19}$ A と定義する。この電流値を電気素量という。

電流 I の単位の精度は、時間 T に依存する。

(5) 温度 θ [K] (ケルビン) つぎの物理法則を利用する。

$$\text{熱エネルギー} = \text{ボルツマン定数 } k \times \text{絶対温度 } \theta \quad (1.1)$$

$k = 1.380\ 648\ 8 \times 10^{-23}$ J · K⁻¹ となるように θ の 1 ケルビンの大きさを定義する。0 K は絶対零度で、このとき原子の振動が完全に止まる。温度が上がるほど、原子は激しく振動し、融点を超えると固体を保てないほど振動して液体になり、沸点を超えると粒子が飛び散って気体になる。0 K より低い温度はない。

温度 θ の単位ケルビンの精度は、時間 T 、長さ L 、質量 M の精度に依存する。

(6) 物質質量 n [mol] (モル) アボガドロ定数 ($6.022\ 141\ 29 \times 10^{23}$) と同じ数の粒子 (原子や分子など) の集まりが 1 mol の定義である。

この定義は、「12 個を 1 ダース」と定義するのと同じで、ある数の集まりを 1 mol としているだけである。そのため、物質質量 n の単位モルの精度は、ほかの基本単位の影響を受けない。

(7) 光度 I_v [cd] (カンデラ) 点状の光源を見たときのまぶしさを光度こうどといい、昔はろうそく 1 本の光度を 1 cd としていた。ほかの SI 基本単位量とは異なり、光度はヒトが感じる量 (感覚量) である。カンデラは、人間が最もまぶしく感じる周波数 540×10^{12} Hz の光のエネルギーに関連して定義される。カンデラは、ろうそくのフランス語読みである。英語のキャンドルと似ている。人名ではないので cd と小文字で書く。

光度 I_v の単位カンデラの精度は、時間 T 、長さ L 、質量 M の精度に依存する。

1.1.3 SI 組立単位

速度の単位 m/s は、SI 基本単位の m と s を組み合わせている。このように、SI 基本単位を組み合わせてつくる単位を SI 組立単位といい、つぎのように分類できる。

- (1) 速度 m/s のように、SI 基本単位だけで表す組立単位
- (2) 角度 rad のように、固有の記号で表す組立単位
- (3) 角速度 rad/s のように、(1) と (2) の両方で表す組立単位

これからそれぞれ理解しよう。

(1) 速度 m/s のように、SI 基本単位だけで表す SI 組立単位 表 1.2 に例を示す。

面積 S [m²] は、平面の広さで、図 1.1 の長方形の面積は縦の長さ a [m] × 横の長さ b [m] = ab [m²] である。

体積 V [m³] は、空間の広さで、図 1.1 の直方体の体積は縦の長さ a [m]

索引

【あ】	
アイソレーションアンプ	100
アクティブセンシング	186
アクティブタグ	174
アクティブフィルタ	109
圧電型加速度センサ	168
圧電効果	168
圧電セラミックス	173
圧力	10
アナログ信号処理	80
アナログ測定器	30
アナログ量	78
アボガドロ定数	5
アンプ	80
アンペア	4
【い】	
位置エネルギー	10
1 ゲージ法	83
一次 HPF	113
一次 LPF	111
胃電図	180
イナーシャ	14
イマジナリーショート	85
インスツルメンテーション アンプ	97
インダクタンス	12, 17
【う】	
打ち切り誤差	27
運動エネルギー	11

【え】	
エイリアシング	79, 151
エイリアス	79
エネルギー	10
演算増幅器	84
円振動数	13
エントロピー	15
【お】	
応力	37
オペアンプ	84
オームの法則	11
折返し雑音	79, 151
温度	4
【か】	
階調	176
回転数	9
ガウスの誤差伝播則	49
ガウス分布	40
角加速度	13
角周波数	13
角振動数	13
角速度	13
拡張不確かさ	54
確度	30, 42
角度	8
確率	39
確率誤差	47
確率分布	39
確率密度関数	44, 128
加算器	92, 96
過失誤差	41

荷重計	83
仮数部	25
画素	176
画像処理	177
仮想短絡	85
加速度	6
加速度計	83
加速度センサ	165
片持梁	83, 159
かたより	45
カットオフ角周波数	117
カットオフ周波数	110, 112, 114, 115
可動極板型コンデンサ	170
感覚量	5
慣性能率	14
慣性モーメント	14
間接測定	21, 49
カンデラ	5
眼電図	180
【き】	
器械誤差	41
機械刺激	146
器差	30
擬似逆行列	60
基準正規分布	43
基本波	71
基本量	2
逆圧電効果	168
逆相入力	84
逆フーリエ変換	74
キャパシタンス	12, 17
共振	117

—の鋭さ 117
 共振周波数 117
 共分散 66
 極座標 129
 —への座標変換 129
 許容差 30
 切上げ 28
 切捨て 28
 キログラム 4
 筋電位 99
 筋電図 180

【く】

偶然誤差 40
 くし型フィルタ 108
 屈折率 7
 組立量 2
 グランドループ 125

【け】

計算誤差 24
 計装アンプ 97
 計装用差動増幅器 97
 系統誤差 41, 45
 ゲイン 84
 ゲージ率 82, 155
 桁落ち誤差 25
 ケルビン 4
 減算器 94, 96
 減衰比 117
 検波回路 104

【こ】

コイル 12, 16
 公差 30
 校正 41
 合成標準不確かさ 54
 高速フーリエ変換 74
 高調波 71
 光度 5
 工率 11
 国際単位系 1
 国際度量衡委員会 2

誤差の三公理 42
 誤差率 34
 五捨五入 28
 個人誤差 41
 コモンモードノイズ 96
 コンダクタンス 11
 コンデンサ 12, 17
 コンパレータ 86

【さ】

最確値 45
 再近接偶数 28
 再現性 42, 53
 最小二乗法 56, 66
 雑音 80
 差動アンプ 94
 差動増幅器 94
 差動伝送 100
 差動入力 150
 差分処理 180
 差分フィルタ 178
 サーミスタ 161, 163
 サーミスタ定数 164
 サーモグラフィ 171
 サールの装置 37
 残差 46, 55
 3線式 163
 サンプリング 78
 サンプリングタイム 78
 サンプリング定理 79, 151
 サンプル 78
 サンプル時間 78
 サンプル周期 78
 サンプル周波数 78, 151

【し】

時(時間の単位の名称) 18
 磁荷 15
 磁界 16
 —の強さ 7, 16
 時間 2
 時間領域 71
 磁気 15

しきい値 177
 磁極 15
 シグナルコンディショナ 97
 次元 20
 次元式 20
 自己相関関数 65
 仕事 10
 仕事率 11
 四捨五入 28
 四肢誘導 181
 指数表記 25
 指数部 25
 磁束 15
 磁束密度 16
 質量 4
 質量濃度 7
 磁場 16
 —の強さ 7
 周期関数 70
 重積分 129
 周波 9
 周波数 9
 周波数解析 64
 周波数成分 70
 周波数帯域 84
 周波数領域 71
 出力インピーダンス 86
 シュミットトリガ 102
 情報落ち誤差 27
 磁力線 15
 シングルエンド入力 150
 心電図 180
 振動数 9
 振幅比 84, 108

【す】

ストレイニングージ 81

【せ】

正確さ 42
 正帰還 85
 正帰還型 HPF 119
 正帰還型 LPF 117

正規直交関数系	70	速 度	6	電 圧	11
正規分布	40			電圧フォロワ	90
正規方程式	60	【た】		電 荷	11, 17
正相入力	84	大数の法則	46	電 界	17
生 体	180	体 積	5	——の強さ	17
静電容量	12	体積密度	7	電気抵抗	11
精 度	30, 42	多チャンネル型 A-D 変換器	153	電気容量	12
精密さ	42			電 極	17
精密度	42	弾性係数	37	電気力線	17
整 流	104	弾性率	37	電気量	11
ゼーベック効果	164			電磁ノイズ	124
積 分	126	【ち】		電 束	17
積分回路	114	チェビシェフフィルタ	120	電束密度	17
セシウム原子時計	3	力	10	転置行列	60
セ氏度	12	——の能率	13	電 場	17
絶縁アンプ	100	——のモーメント	13	電 流	4
絶縁増幅器	100	力センサ	83	電流電圧変換器	91
絶対測定	22	置換法	23	電流密度	7
接頭語	18	逐次型 A-D 変換器	94	電 力	11
接頭辞	18	チャージアンプ	168		
セミアクティブタグ	175	チャンネル切替方式	153	【と】	
セルシウス度	12	中央誤差	47	度 (平面角の単位の名称)	18
センサ	79, 145	中心極限定理	48	同時サンプリング方式	153
センサシステム	144	超音波センサ	172	透磁率	7, 16
センサ素子	144	調波成分	70	同相アンプ	87
センサ統合システム	145	直接測定	21	同相信号除去比	96
センサフュージョン	185	直 交	70	同相成分	96
センシング	80	直交座標	129	同相ノイズ	96, 150
センシングシステム	145			度数分布表	39
剪断応力	15	【つ】		トランスデューサ	80, 144
全地球測位システム	146	ツイン T ノッチフィルタ	121	トルク	13
全波整流	104			トン	18
		【て】			
【そ】		抵抗変化型センサ	154	【な】	
相関関数	64	抵抗率	155	ナイキスト角周波数	79
相関係数	66	デジタル信号処理	81	ナイキスト周波数	79
相互相関関数	65	デジタル測定器	30	長 さ	4
相対誤差	34	デジタル量	78		
増 幅	80, 88	定常ゲイン	117	【に】	
増幅度	84	ディスプレイ	79	2 ゲージ法	83
増幅率	84	データ	25	二次 LPF	116
測温抵抗体	161	データ圧縮	71	2 進数	80
測定誤差	24, 40, 46	デシベル	18	2 線式	162

min (時間の単位)	18	RFID	174	
mol (物質量の単位)	5	RGB	177	【V】
		RL フィルタ	110	V (電位差 (電圧) の単位) 9
【N】				【W】
N (力の単位)	9	【S】		W (仕事率 (電力, 工率) の
<i>n</i> 次調波	71	S (コンダクタンスの単位)	9	単位) 9
NTC サーミスタ	163	s (時間の単位)	2	Wb (磁束, 磁荷の単位) 9
		SI	1	
【O】		SI 基本単位	2	【X】
OP アンプ	84	SI 組立単位	2, 5	X 線装置 172
		SI 単位	1	
【P】		SI 併用単位	18	【ギリシャ文字, 記号】
Pa (圧力, 応力の単位)	9	SN 比	182	Ω (電気抵抗の単位) 9
PTC サーミスタ	163	sr (立体角の単位)	9	°C 9
Pt100	161			【数学記号】
		【T】		Σ 46
【R】		T (磁束密度の単位)	9	≪ 32
rad (平面角の単位)	9	t (質量の単位)	18	T (転置行列) 60
RC フィルタ	110			
rdg	31			

— 著者略歴 —

小坂 学 (こさか まなぶ)	岡田 志麻 (おかだ しま)
1989年 大阪府立大学工学部電子工学科卒業	2000年 立命館大学理工学部ロボティクス学科卒業
1991年 大阪府立大学大学院工学研究科博士前期課程修了(電子工学専攻)	2002年 立命館大学大学院理工学研究科博士課程前期課程修了(情報システム学専攻)
1991年～01年 ダイキン工業株式会社電子技術研究所	三洋電機株式会社研究開発本部研究員
1999年 大阪府立大学大学院工学研究科博士後期課程修了(電気情報系専攻), 博士(工学)	2008年 日本学術振興会特別研究員
2001年 近畿大学講師	2009年 大阪大学大学院医学系研究科博士課程後期課程修了(保健学専攻), 博士(保健学)
2006年 近畿大学助教授	立命館大学助教
2011年 近畿大学教授	2013年 近畿大学講師
現在に至る	現在に至る

高校数学でマスターする 計測工学

— 基礎から応用まで —

Instrumentation Engineering Based on High School Math

— From Fundamentals to Applications —

© Manabu Kosaka, Shima Okada 2016

2016年3月11日 初版第1刷発行

★

検印省略

著者 小坂 学
岡田 志麻
発行者 株式会社 コロナ社
代表者 牛来真也
印刷所 三美印刷株式会社

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 978-4-339-04646-5 (横尾) (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