

# 製品事例から学ぶ 現代の電気電子計測

博士(工学) 藤田 吾郎 著

コロナ社

コロナ社

# まえがき

電気電子計測に関するテキストは数多く出版されているが、筆者は3つの大きな課題があると考えていた。

1つ目として、多くのテキストでは計測の原理から説明を進め、製品として市販されている計測器そのものにまで説明がなかなか行き届いていないことである。読者の多くである学生が最初に目にするのは原理ではなく製品であるが、原理から入っていくと、実物との関連がわかりにくい。むしろ、その製品から逆にたどって原理に行きつく説明、もしくは製品に重点を置いた説明が必要なのではないかと感じた。

2つ目として、アナログ機器の記載が多い点である。いうまでもなく電気電子計測の歴史はアナログ測定から始まっているが、今日ではデジタル機器が多数を占め、アナログ機器は衰退の途を辿っている。そして本書の対象である読者もデジタル機器から入る世代に移っている。そこで今日市販されているデジタル機器を主体として、アナログ機器は従属的に説明するようにした。

3つ目として、機器やセンサのおもな仕様に関する記載が少ないことである。機器やセンサには必ず適用できる電圧なり周波数なりの範囲がある。適切な機器を使用しないと正確な測定ができないだけでなく、事故や故障の原因にも至ることがある。機器の使用に当たり、仕様の確認をする必要性があり、そのポイントを述べておくことが重要であると考えた。

これらの視点をもとに本書の構成を考えた。まずは手にする機会が多いデジタルテスタ、オシロスコープ、指示計器の3つを基本として、それに付随する解説を行い、続いて関連する事項や機器の説明をすることとした。

製品事例として製品写真と特徴、おもな仕様を示した。カタログを直接見て

も、何が重要なかが判断できないことも多い。まずは本書でおもな仕様を理解して、必要に応じてカタログやマニュアルに記載されている内容を精査する二段階を取るのがよいであろう。おもな仕様は本書に関連するところに絞り、サイズや質量、保証期間、付属品などは省いている。温度特性も温度センサなどを除き記載していない。

章末には簡単な問題を入れた。調査して解答する内容が大半である。復習問題としても予習問題としても、どちらにも使用できるようにした。また、巻末には略解を入れた。参考にしていきたい。

ところで執筆を開始してから、いまさらながらに生じた1つの素朴な疑問は「電気電子計測」とはそもそも何か？であった。電気電子工学の研究教育の場面で生じる計測全体なのか、それとも電気電子を用いた計測なのか判然としないのであるが、テキストとして見た場合は前者の方が親切ではないかと考えて、内容を多岐にわたらせるようにした。

2017年9月

藤田 吾郎

本書に記載されている会社名、商品名、製品名は、一般に各社の登録商標、商標、または商品名です。本文中では、TM、©、®マークは省略しています。

# 目 次

## **1** デジタルテスタ

1.1	デジタルテスタの構造	1
1.2	直流電圧の測定	2
1.3	仕様と誤差の考え方	3
1.4	交流電圧の測定	4
1.5	抵抗の測定	5
1.6	直流電流および電力の測定	6
1.7	交流電流および電力の測定	7
	演習問題	8

## **2** オシロスコープ

2.1	オシロスコープの基本的な使用方法	9
2.2	トリガ機能	13
2.3	量子化・サンプリングと分解能	15
2.4	周波数特性	17
2.5	電流計測	18
2.6	電流プローブの種類	21
2.7	複数の信号の同時計測	24
2.8	リサージュ波形	28
2.9	波形の記録	29

2.10	ノイズ除去	32
2.11	スペックの見方	34
	演習問題	35

## 3 指示計器

3.1	指示計器の構造	36
3.2	指示計器の記号	38
3.3	指示計器の許容差	39
3.4	電流計と電圧計	39
3.5	電力計	41
	演習問題	42

## 4 電圧と電流の計測

4.1	分圧器と倍率器	43
4.2	分流器	44
4.3	ホイートストンブリッジ	45
4.4	電圧・電流トランスデューサ	47
4.5	クランプメータ	49
4.6	LCRメータ	51
	演習問題	53

## 5 数学的取り扱い

5.1	平均値など	54
5.2	統計的扱い	56
	演習問題	57

## 6 交流回路の扱い

6.1 単相交流	58
6.2 多相交流回路	59
6.3 高調波	61
6.4 インターハーモニクス	63
6.5 不平衡	64
6.6 パワーテスタ	65
演習問題	67

## 7 交流回路の計測

7.1 電力量計	68
7.2 トランスデューサ	69
7.3 相順の計測	71
7.4 同期の計測	73
7.5 大電圧・電流の計測	74
演習問題	77

## 8 力と回転の計測

8.1 ひずみゲージ	78
8.2 回転速度の計測	79
8.3 トルクの計測	80
演習問題	84

**9****接地抵抗・絶縁抵抗の計測**

9.1 接地抵抗の基準	85
9.2 接地抵抗の計測	88
9.3 絶縁抵抗の基準	89
9.4 絶縁抵抗の計測	91
演習問題	92

**10****磁気 の 計 測**

10.1 ホール素子	93
10.2 エプスタイン装置	94
13.3 地磁気センサ	95
演習問題	97

**11****温度 の 計 測**

11.1 サーミスタ	98
11.2 熱電対	99
11.3 サーモパイル	101
11.4 温度ロガー	102
演習問題	103

**12****光 の 計 測**

12.1 CdS セル	104
12.2 フォトダイオード, フォトトランジスタ	105

12.3 焦電形赤外線センサ	110
12.4 照度の計測	112
演習問題	114

## 13 電源品質の計測

13.1 電源品質アナライザ	115
13.2 基本的な計測	116
13.3 長時間の計測	118
13.4 高調波の計測	119
13.5 イベント検出	121
演習問題	121

## 14 その他の計測

14.1 データロガー	122
14.2 EMF の計測	125
14.3 検電器	126
14.4 距離の計測	128
14.5 加速度の計測	130
演習問題	132

## 15 LabVIEW を用いた計測

15.1 DAQ の準備	133
15.2 DAQ の接続	135
15.3 プログラムの作成	136
演習問題	138



## **16** 規格・法令と電気電子計測

16.1 JIS 規格と国際単位系 .....	139
16.2 計 量 法 .....	144
16.3 定 期 検 査 .....	145
16.4 検 査 機 関 .....	146
16.5 トレーサビリティ .....	147
演習問題 .....	148
引用・参考文献 .....	149
演習問題解答 .....	150
索 引 .....	153

# デジタルテスタ

電気電子計測において、最も身近な計測機器がデジタルテスタであろう。電圧、電流、抵抗の測定のほか、導通チェック、ダイオードの極性判定、コンデンサの静電容量測定などの機能を持ち合わせている機種もある。この身近な電気電子計測機器をもとに、本書の解説を始めることとする。

## 1.1 デジタルテスタの構造

製品事例として sanwa 製デジタルマルチメータ CDS-820 を取り上げる。本製品は電圧、電流、ダイオードの極性判定、導通チェック、抵抗の測定ができる。太陽電池がついており、電池がない状態でも明るい場所であれば使用できる。図 1.1 (a) に正面を示す。

左下が共通端子 (COM)、その右が通常使用する端子である。電圧測定端子と電流測定端子は別々にするのが通例であるが、本製品ではまとまっている。右下にはカバーがしてある端子があり、12 A を測定する際に使用するが、内部に保護ヒューズを介さないため、使用には十分な注意が必要である。上部にはデータホールドのボタン、DC/AC の切り替えボタン、レンジをマニュアルで切り替えるボタンが備わっている。

図 (b) は裏側から見た内部構造であるが、集積回路に機能が集約されていることがわかる。しいていえば、図 1.2 のダイヤル式セレクトタにより計測内容を選べるのがわかるものの、最近のデジタルテスタではこのようなスタイルも減りつつある。

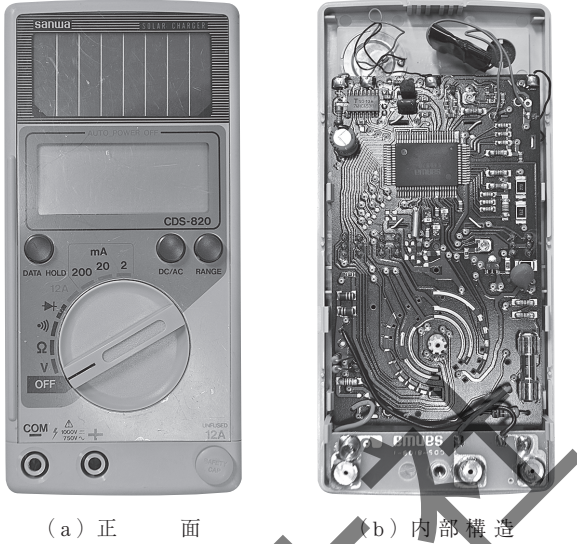


図 1.1 sanwa 製デジタルマルチメータ CDS-820

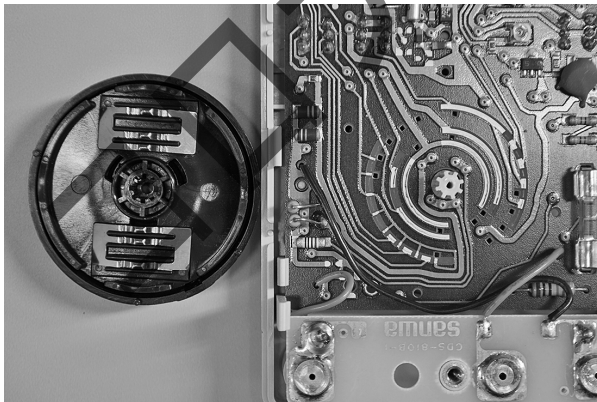
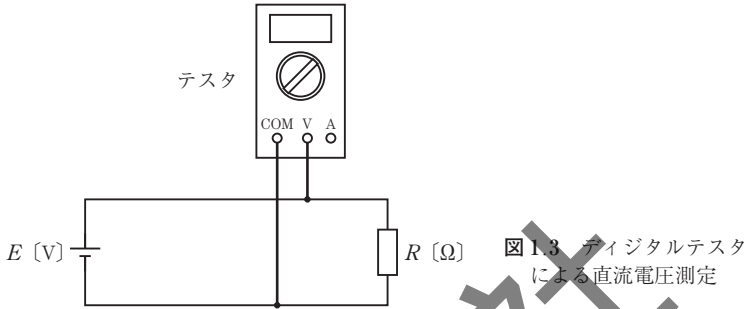


図 1.2 デジタルテスタのセレクト

## 1.2 直流電圧の測定

まず、取り上げたデジタルマルチメータで、いちばんの基本となる直流電

圧を測定する。図 1.3 に測定方法を示す。図 1.1 の例では電圧測定端子と電流測定端子は同一であったが、通常は別々であることから、以下の図でも分けている。



V (+) 端子に赤のリード線，COM 端子に黒のリード線を接続して，それぞれを測定する回路に接触させる。不安定な場合は，ワニ口クリップで接続してもよい。これにより計測値が表示されるはずである。正常な値が表示されない場合の主な原因は**接触不良**である。接触部分やリード線が酸化して導電不良になっていたり，その前後のはんだ付けが不完全で接続が切れていることが多々ある。

### 1.3 仕様と誤差の考え方

製品の仕様を見ると，測定するレンジにより誤差が異なっていることがわかる。表 1.1 はデジタルマルチメータ CD700 の例である。**rdg** は読み取り値

表 1.1 sanwa CD700 の直流電圧測定仕様

レンジ	確度	入力抵抗 [MΩ]
400.0 mV	$\pm(0.5\% \text{ rdg} + 2 \text{ dgt})$	$\geq$ 約 100
4.000 V	$\pm(0.9\% \text{ rdg} + 2 \text{ dgt})$	約 11
40.00 V		約 10
400.0 V		
600 V		

(reading) に対する相対誤差を示している。これは分圧・分流量器（4章参照）の精度に依存する。

また **dgt** (digit) は A-D 変換器の精度に基づくデジタル表示値の誤差を示している。例えば 400.0 V レンジで 200.0 V と表示された場合、まず  $\pm 0.9\% \times 200.0 \text{ V} = \pm 1.8 \text{ V}$  の誤差がある。これに加え、400.0 V の最後のケタである 0.1 V が最大 2 つ分ずれる、すなわち  $\pm 0.1 \text{ V} \times 2 = \pm 0.2 \text{ V}$  の誤差が生じることを示している。この場合の**確度**（測定器に生じる最大誤差を含んだ範囲）は、 $200.0 \text{ V} \pm 1.8 \text{ V} \pm 0.2 \text{ V} = 198.0 \sim 202.0 \text{ V}$  となる。

また入力抵抗は約  $10 \text{ M}\Omega$  となるので、 $200 \text{ V} / \text{約 } 10 \text{ M}\Omega = \text{約 } 20 \mu\text{A}$  がテスタに流れ込むことがわかる。これはゼロであるのが理想であるが、このくらいの小さい値であれば通常は問題は生じない。

## 1.4 交流電圧の測定

つぎに図 1.4 により交流電圧を測定する。結線そのものは直流電圧と変りがないが、表 1.2 をもとに交流電圧測定について確認すべき事項がある。

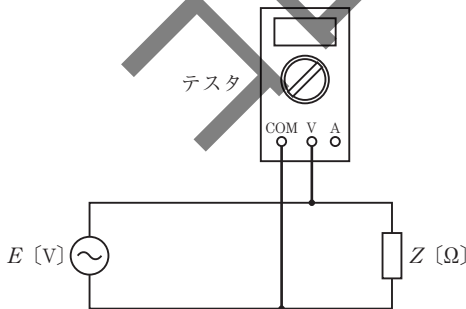


図 1.4 デジタルテスタによる交流電圧測定

まず測定できるレンジに 400.0 mV がなく、4.000 V が最小となる。そして、備考にある「インバータ電源回路の測定では誤動作することがあります」は、ひずみ波を含んだ測定では誤差が生じる可能性があることを示している。

これらの理由は明示されていないが、整流回路による電圧降下が生じること

表 1.2 sanwa 製 CD700 の交流電圧測定仕様

レンジ [V]	確 度	入力抵抗 [MΩ]	備 考
4.000	±(1.2 % rdg+7 dgt)	約 11	<ul style="list-style-type: none"> <li>・周波数範囲：40～400 Hz (正弦波)</li> <li>・周波数が 1 kHz を超える場合、測定できない。</li> <li>・インバータ電源回路の測定では誤動作することがある。</li> </ul>
40.00		約 10	
400.0			
600			

と、整流後の平均値から実効値を換算して得ているためと理解できる。確度も直流測定より大きくなることに注意が必要である。

## 1.5 抵抗の測定

抵抗測定を図 1.5 に示す。抵抗の測定ではテスタから電圧を与え、それにより生じる電流を計測して算出している。抵抗の測定で注意すべきことは、抵抗器が回路に入っている場合、う回路が生じないようにすることである。う回路があると、真値より低い値が表示されるばかりではなく、不必要な箇所に電圧が加わる可能性もあり、場合によっては回路の損傷に結びつく。

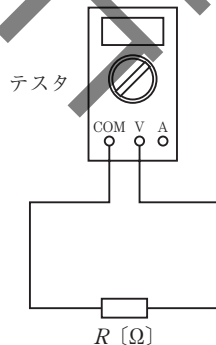


図 1.5 デジタルテスタによる抵抗測定

表 1.3 に抵抗測定の仕様を示す。誤差の考え方はこれまでと同じである。開放電圧 0.4 V を加え、流れた電流をもとに抵抗値を算出している。40.00 MΩ

# 索引

<b>【あ】</b>	許容値	39	三相交流回路	59	
アナログ形電力量計	69	距離計	128	三相式同期検定器	73
アナログ出力	70	<b>【く】</b>	三電極法	88	
アナログテスタ	36	空心電流計形	41	サンプリング	15
<b>【い】</b>	矩形波波形	62	<b>【し】</b>		
位相差	7	クランプ式	19	軸のねじれ	81
イベント検出	121	クランプメータ	49	次数間高調波	63
インターハーモニクス	63	クレストファクタ	54	実効値	54
<b>【う】</b>	<b>【け】</b>		シメント	44	
う回路	5	計器用変圧器	75	周波数帯域	17
<b>【え】</b>	計算法	144	周波数特性	17	
エイリアシング	16	計算法トレーサビリティ		周波数変動	119
演算機能	27	制度	147	瞬時停電	121
<b>【お】</b>	検査機関	146	焦電形赤外線センサ	110	
温度ロガー	102	減衰倍率	17	焦電効果	110
<b>【か】</b>	検相器	72	照度基準	112	
回転シリンダ方式	82	検定証印	145	照度計	112
回転速度	79	検電器	126	<b>【す】</b>	
確 度	4	<b>【こ】</b>		スウェル	118
加速度センサ	130	校正事業者登録制度	147	ストレインゲージ	78
活 電	126	高調波	61	スマートメータ	69
課 電	126	高調波含有率	63, 119	スリップリング方式	81
可動コイル形指示計器	37	国際単位系	139	<b>【せ】</b>	
可動鉄片形	39	国際度量衡総会	139	積算電力	119
感 度	135	国際度量衡総会	139	絶縁抵抗	90
<b>【き】</b>	コモンモードノイズ	33	絶縁抵抗計	91	
機器損傷	25	<b>【さ】</b>	接触抵抗	45	
極性判定	1	サーチコイル	125	接触不良	3
		サーミスタ	98	接地線	85
		サーモカップル	99	接地抵抗	85
		サーモグラフィ	101	接頭語	141
		サーモパイル	101	零位法	46

	電力量計	68				
			<b>【と】</b>		<b>【ひ】</b>	
総合ひずみ率	63		等価回路成分	18	ひずみゲージ	78
相順	71		同期	73	ひずみ波	4
測定ライン	116		銅損	95	標準偏差	56
			導通判定	21		
	<b>【た】</b>		トランスデューサ	47, 69	<b>【ふ】</b>	
ダイオード単相全波整流回路	27		トリガ	13	フォトICダイオード	105
対称座標法	64		トリガレベル	15	フォトカプラ	105
単位記号	142		取引または証明に必要な計量単位系	144	フォトセンサ	108
単磁界軸	125		トリマ	18	フォトダイオード	105
			トルク	80	フォトトランジスタ	105
	<b>【ち】</b>		トレーサビリティ	147	フォトトリフレクタ	108
地磁気	95		トロイダルコア	33	不平衡	64
地電圧	89				不平衡率	64
超音波	129				フラックスゲート検出形	23
					フルスケール	36
	<b>【て】</b>		<b>【に】</b>		ブロックダイアグラム	137
定期検査	145		日射計	110	プローブ出力補正端子	18
デジタルオシロスコープ	9		二電極法	88	ブロンデルの定理	61
デジタル形電力量計	69		日本工業規格	139	分圧器	43
デジタルテスタ	1		日本電気計器検定所	146	分解能	16
デジタルマルチメータ	69				分散	56
ディップ	118		<b>【ね】</b>		分流器	44
データロガー	122		熱電対	99, 122		
鉄損	94					
電圧上昇	119		<b>【の】</b>		<b>【へ】</b>	
電圧端子	45		ノイズ	32	平均	56
電圧低下	118		ノーマルモードノイズ	33	平均値	54
電圧プローブ	10				変位力率	63
電気設備技術基準	65				変流器	74
電源品質	115		<b>【は】</b>			
電子ばかり	78		配電箱	86	<b>【ほ】</b>	
電磁単位相差方式	81		倍率器	43	ホイートストンブリッジ	45
電磁誘導位相差方式	82		波形の垂直方向表示	11	保護	7
電流センサ	21		波形の水平方向表示	11	保護ヒューズ	1
電流端子	45		波形率	54	ホール効果	93
電流プローブ	19		波高率	54	ホール素子	93, 125
電力	58		パルス	122	ホール素子検出形	23
電力チェッカ	49		パルス出力	70	ホール素子方式電流センサ	
			反転	26		21



<b>【ま】</b>		<b>【り】</b>		<b>【れ】</b>	
巻線検出形	23	リサージュ波形	28	レーザ	128
<b>【め】</b>		離散時間系	137	連続時間系	137
メガー	91	リップル含有率	55	<b>【ろ】</b>	
目盛盤	40	量子化	15	ログスキーコイル方式	
				電流センサ	22

<b>【A】</b>		CT	74	<b>【L, M】</b>	
AC カップリング	12	CT 方式電流センサ	21	LCR メータ	51
AC ゼロフラックス方式		CURSOR ボタン	12	MEASURE ボタン	13
電流センサ	23	<b>【D, E】</b>		<b>【P, R】</b>	
AC-DC ゼロフラックス方式	23, 24	DAQ	133	PT	75
A-D 変換器	15	DC カップリング	12	rdg	3
AUTO ボタン	11	dgt	4	<b>【S, T】</b>	
<b>【B】</b>		EMF	125	SI	139
B 定数	98	<b>【I, J】</b>		SI 基本単位	139
BMP (ビットマップ) 形式	29	I <sup>2</sup> C	95	SI 組立単位	139
<b>【C】</b>		JCSS	147	THD	63
CdS セル	104	JEMIC	146	<b>【V, X】</b>	
CGPM	139	JIS	139	VT	75
CSV 形式	30	JIS C 1102-1	38	XY フォーマット	28
		JIS Z 9110	112		
		JPEG (ジェイペグ) 形式	29		

— 著者略歴 —

1992年 法政大学工学部電気工学科卒業  
1994年 法政大学大学院工学研究科修士課程修了（電気工学専攻）  
1997年 法政大学大学院工学研究科博士課程修了（電気工学専攻）  
博士（工学）  
1997年 東京都立大学研究生  
1997年 法政大学兼任講師（2013年まで）  
1998年 芝浦工業大学講師  
2006年 芝浦工業大学助教授  
2007年 芝浦工業大学准教授  
2013年 芝浦工業大学教授  
現在に至る

おもな資格：第一種電気主任技術者，技術士（電気電子部門）

製品事例から学ぶ 現代の電気電子計測

Modern Electrical and Electronic Measurement : Learning from Product Cases

© Goro Fujita 2017

2017年11月20日 初版第1刷発行

★

検印省略

著者 藤田 吾郎  
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 978-4-339-00905-7 C3054 Printed in Japan

(高橋)



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 03-3513-6969, 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。