

E

復刻版

エレクトロニクス
実務シリーズ

E l e c t r o n i c s

疑問の解決と未知の分野における創造への手がかり

わかる電子計測技術

安孫子健一 [著]

見本

CQ出版社

第 1 章

計測の役割

1.1 計測/測定/計量

計測/測定/計量/電子計測/電気計測/……とは、何のことで、何のために、何を、どのようにし、その結果をどう評価しているのであろうか、ということについて概略を考え、続章でもっと詳しく考察します。

「……計測」とか「……計測器」という題名の本を、ちょっとめくってみよう。表紙のほかに“計測”という言葉は、ほとんど（本によっては皆目）見当たらないはずですが。“計測”ではなく、“測定”という言葉が多数見うけられるでしょう。日本工業規格での規定や、研究者の考えについて、付録 A にまとめてあるので、参照してください。

計測とは、JIS Z 8103 によれば、「特定の目的をもって、事物を量的にとらえるための方法・手段を考究し、実施し、その結果を用い所期の目的を達成させること」となっています。

計測の例としては、「風邪にかかっているかどうかを判断するために、体温の測定の方法を考究し、電子体温計で舌下の温度を測定し、39℃という結果を得たので、その他の症状と考え合わせて、風邪と判断する」などがあります。この全体が体温計測などということになります。目的指向なら“風邪計測”といたいところですが……。

“計測”に対応する英単語はない，“計測”は“測定”を用いた“計り事”であり，“測定の研究”，“測定の計画・実施・応用”などが全部含まれることになります。こういうわけで、本の題名（とこの本）を除いて、計測という言葉は、ほとんど使われないことになります。風邪計測では、風邪を正確に判断できたかどうかが評価されます。

“計測”という言葉が“測定”という言葉より品が良さそうだ、という意見もありますが、読者にはどう感じられますか。

“電子計測”も“電気計測”も、電子や電気を量的にとらえる（装置を用いた）計測といえますが、電子のほうが今様（ナウイ）である、高周波を扱っている、明るい、若干浮わっている、などの意見もあります。“電磁気量計測”などという、本当に堅く、コンクリートの壁の中で白衣の（人はめったにいないが）研究者が、電磁気学の実験をやっているイメージだという人もいます。“電磁気”とケチらないで“電気・磁気”とチャント・チャントしなさいと言う堅い人もいますが、英語なども“Electromagnetic”というのが多くて、“Electronic and magnetic”というのには、滅多にお目にかかりません。

“計量”は、公的基準を基礎とする計測なので、例えば“スーパーで肉を買うため、肉の重さを測定し、重すぎるので半分にして買う”などの肉重の計量があり、これは商売上重要なので“計量法”という法律で規定されています⁽¹⁾。国際的にも“メートル条約”という条約があり、例えばこの条約で「国際キログラム原器の質量に等しい」と定義された、“日本のキログラム原器”があり、工技院計量研究所（茨城県筑波市）に厳重保管されています。つまり、1 kgの基準となる質量（質量標準）となります。

この原器は、1889年条約加盟国に配布された、質量1キログラムの基準となるもので、今年（1993年）3年ほどかけた国際キログラム原器（パリの国際度量衡局在）との比較（較正）を行って帰国、この100年間で両原器の“差”は百万分の7グラムであったと報じられています。では、国際キログラム原器は変化していないのであろうか？

メートル条約や計量法は、もちろん他の量、長さや時間や電流についても規定しています。例えば、理科年表（国立天文台編、丸善株式会社）⁽⁴⁾の物理/化学部の冒頭部分の単位のところを見てください。質量標準を除いては、“このようにして定めればよい”という方法のみ定めてあります。方法は、きつと変化しないでしょう。変化したとしても、それはその方法を実行した人の責任といえるほど明確だ、と皆が同意した方法であるわけで

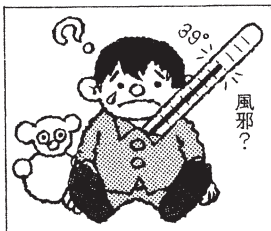


図 1.1 体温計測

す。質量標準についても、物であるキログラム原器でなく、方法として規定する研究が進められています。質量標準は一つの測定材です（付録A）。

どのような計測も、国際標準や国家標準などを基準にしているように思いますが、“計量”という言葉は、重さなどで主に用いられ、他ではあまり用いられません。“基準とどうつながっているのか”と聞かれるのが面倒なせいでしょうか。あるいは、何か堅苦しく感じるせいでしょうか。

理由の一つに、国家標準や国際標準は、限られた個数で、限られた値のものしかなく（例えば、重さの国家標準は1個で、1キログラムだけ）、また、限られた時間（重さの国家標準は7年半に1回だけ使われる）しか使えないことがあります。もちろん、国家標準に基づいて定めた一次標準、さらに一次標準に基づいた二次標準、……は、もっと数が多いのですが、やはり、“基づく”ためには大変な手間がかかります。

別の理由として、日常的には“実質標準”なるものがたくさんあるからです。例えば、「この紐と同じ長さに切ってくれ」というときの“この紐”が実質標準ですが、その場かぎりの一時的な（局所的）標準といえます。

これらの理由はあるにせよ、全世界で量のやりとりをして商売するには、全世界共通の目盛で計量しなければなりませんから、国際標準まで“基づける”ことが重要になります（基づけられることを「トレーサブル」といっている）。

さて、では“測定”とは何か。

付録Aを参照すると、“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”であるので、電圧（ある量）を1V（基準となる量）と比較し、+（符号）5.2（数値）V（基準となる量の記号）と表します。これは一つの操作あるいは機能です。逆の操作は、量の“供給”といいますが、あまり表立って登場することが少ないのは何故でしょうか。

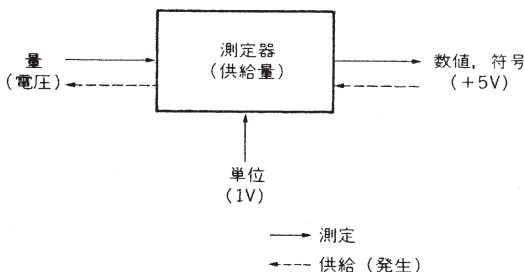


図 1.2 量の測定と供給（単位（基準となる量）を測定でも供給でも明示すべきでしょう）

供給は“ある符号あるいは数値を、基準として用いる符号あるいは数値と比較し、量を用いて表すこと”といえるのでしょうか？ 少しおかしい？ 皆さんも考えてみてください。

さて、測定は計測の（重要な）一要素ではありますが、それらがうまくできたかどうか、の判定（評価）はかならずしも計測のそれとは一致しないと思われます。

体温を水晶温度計で測定して、風邪の診断に用いる計測では、時々刻々の温度が1000分の1度の精度で測定されても、医者にとってはわずらわしいだけで何の足しにもなりません。

1.2 何のために計測するのか

ここで、計測に関連すると思われる四つの事がらについて考えてみます。

(1) シュツットガルト（ドイツ）で開催された陸上の第四回世界選手権では、日本の浅利純子（ダイハツ）が女子マラソンの1位で、記録は2時間30分3秒であった。世界歴代記録の筆頭はクリスチャンセン（ノルウェー）の2時間21分6秒です。また、今回はマッコルガン（英）やオンディエキ（豪）が欠場、本命とみられたマルロワ（ロシア）も

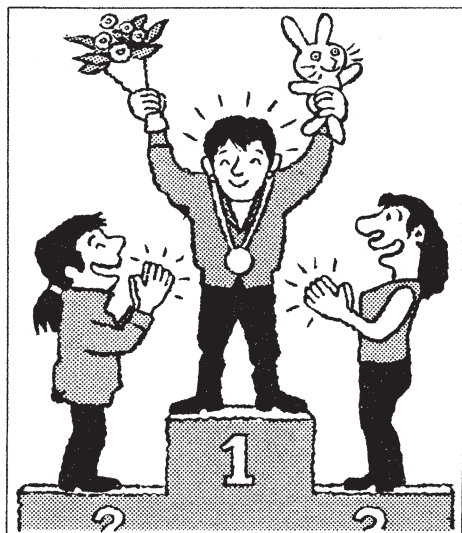


図 1.3 記録は永遠か？

直前に出場を取り止めました。一方、男子100m決勝ではリンフォード・クリスティ(英)が、世界記録にあと百分の一秒という9秒87で優勝しました。

これらの記録は全世界に知らされ、共有され、感激と興奮と新たな挑戦意欲をかきたてたものです。スポーツの世界では、このような感激を味わい、あるいは人間の可能性をみだすため記録の計測を行っているといえます。そして、全世界で共有するための共通語(数値と単位)で測定結果が表され、通信されています。1, 2, 3位という順位も感激を与えますが、2時間30分3秒の方が将来においてより比較の対象とされるでしょう。それは何故でしょうか？

一方、マラソンの記録の精度は1秒で2時間30分の約1万分の一であり、100m走の記録の精度は百分の一秒で千分の一です。何故でしょうか？

順位1, 2位はその場かぎりだが、記録は永遠であるのでしょうか。マラソンのコース、トラックの状態、それらすべてを考えれば、記録だってその場かぎりではないだろうか。

(2) 工業用ミシンの大手のJUKIでは、縫製を「いい縫い、悪い縫い」などという定性的な評価により、むずかしい素材の縫製は熟練者の経験と技能に頼っていましたが、これでは、加工技術の再現性が実現されず困っていましたが、新型ミシンに付属する形で、張力測定機「CS-1」を発売し、ミシンの糸の張力、布の押し圧を表示することにしました。これにより、縫製工場に対し希望する縫い方を伝えられ、未熟な縫製工も「カンと経験に頼らず」に縫えるようになりました(日経産業, 1993.5.26 P.15)。

縫製の定量評価がなされ、「よい縫製」を目的として張力測定を行い、「よい縫製」が再現性よくなされたこととなります。衣料の設計者と縫製工との間の通信手段(言葉)として、張力測定機の表示が使われたこととなります。

(3) 1992年10月2日、米国大統領ジョージ・ブッシュは、1997年以降の核実験全面禁止措置を盛りこんだエネルギー関連予算法案に署名しました。ただし、「他国が核実験をしないことを条件に」としています。ブッシュ大統領は、もともと全面禁止には反対であったのです。他国の核実験を計測(検出)できれば、米国の核実験はできるわけです。

ところで、アイゼンハワー元米国大統領は1960年2月、地下核実験を除く大気圏や宇宙での核実験禁止を、ジュネーブでの条約交渉に提案していました。地下核実験が禁止から除外されたのは、地下核実験の計測(検出)確度が不充分であるというのであったといわれています⁽⁶¹⁾。計測できないので、地下核実験はできたわけです。

実に社会への影響の大きい核実験計測であることか！

(4) さらに、三井信雄(米IBMパワー・パーソナル・システムズ部門社長)は、「欧米人

は文化、宗教の違った多民族で成り立っている。米国での生活における数量に関する考え方は、単一民族の日本人と基本的に異なる。お茶を一服、コップ一杯の水、ご飯一膳といっただ常識的な数量の見当がつく国民でなく、何インチ、何オンスと数量を明確にいうことが常識であることを忘れてはならない」⁽⁶²⁾と、日米間の相互理解に関する話の中で述べています。数量、すなわち測定値が、いかに意志疎通の手段として優れたものかをうかがわせるとともに、測定の重要さがうかがわれます。

以上まとめてみると、“計測は、万人共通の言語といえるであろう数値あるいは符号（と単位）によって事物を表すため、測定を行っているのであり、計測の目的はあらゆる人生の局面に分布している”こととなります。

そして、測定結果としての数値や符号は、あとでまた（何度も）用いられるように、測定が明確に定まっていると暗に考えられるものです。再現性（追試の可能性）や、逆測定（量の供給）が保証されていることが、これまた重要となります。

1.3 何をどのように測定するか

1.3.1 量

計測の中において、事物を量的にとらえる手段として測定を行うのでありますが、測定される量、すなわち被測定量とは何をいうのでしょうか。エネルギーでしょうか。電圧はエネルギーではありませんが、量として測定されます。本書では、読者がすでに知っているものとして量を考えます。

ずるい！ と考えるかも知れませんが、何事もつきつめて考えると、人が経験によって知っているものに頼る段階に達します。すでに、本書のこれまでの内容においても“？マ

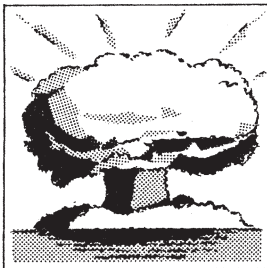


図 1.4 核実験の禁止にも測定が重要な役割を果たす

ーク”で終わっている文のいくつかは、そのような段階を示しているといえるでしょう。あるものを説明すると、説明に使ったものを説明しなければならず、さらにその説明に使ったものの説明をしなければならないの連続で、あの子供の際限ない質問責めに答えるときを思い出してください。

計量法では、約 70 種類の量が定められています。

では逆に測定器で数値と符号が得られるとき、被測定量が入力されていると考えるのはどうだろう？ 測定器が信頼のおけるものなら、それも一案ですね。量の供給については第 4 章でさらに考えます。

1.3.2 電気/電子測定器でどう測定するか

測定は、一般に「測定される量やそれを発生する事物に影響を与えない」ようにして測るのが、良い場合が多いといえます。回路の電圧を測定するのに、電圧計を接続したため測定される電圧が変化してしまっただけでは困るわけです。このようなことが避けられない場合は、次善の策として電圧の変化分が計算できるようにすることです。変化分を計算（較正）して、電圧計を接続しないときの電圧を求めることを補正といいます。この点についても第 2 章でさらに考えます。

電気測定器や電子測定器では、被測定量は電磁気量や電子の量ですから、温度や圧力の測定を電気/電子測定器で測定するためには、温度や圧力を電磁気量や電子量に変換する変換器が前置されます。エネルギーの質を変える変換器を、一般にトランスデューサ (Transducer) といい、このような変換は Transduction といわれます。

電子測定器の国際会議で会ったアリ教授（ミラノ大）によれば、測定器はすべてトランスデューサであるとのことである。電気エネルギーが最終的には表示として人に見える光、あるいは聞こえる音響エネルギーに変換されるからであるというのが、その理由でした。同

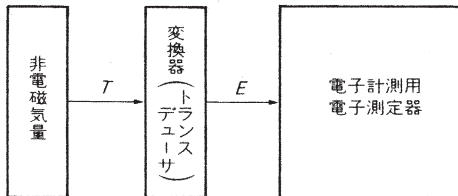


図 1.5 温度などの非電磁気量はトランスデューサで電磁気量に変換して電子計測用電子測定器に入力する

$E=f(T)$ と確定した関数
関係にあることが重要

じエネルギー形態間の変換器をコンバータ (Converter) と呼んでいます。3 V の直流電源から 5 V の直流電圧を発生する、直流-直流 (DC-DC) 変換器 (コンバータ) などがその例です。

温度をトランスデューサを使って電磁気量に変換し、電子測定器で測定した測定値から温度が逆算できるように、目盛づけがなされる場合は電子温度計などと呼ばれます。つまり電子測定器を応用した温度計といえます。

本書では電子測定器を電気測定器も含むものとし、供給器は電子と電磁気量の発生装置に限定して考えます。そして、高周波信号の測定のための電子測定器など、特徴ある被測定電気量を正確に測定する目的で電子測定器を考察し、その表示を人間あるいは機械に与えるところまでを“電子計測”と呼ぶことにします。このように見たとき、電子測定器を電子計測器と呼んでもよいと考えます。もちろん、電子計測器には供給器も含めます。真空が電子の充満体だとする仮説のもとでは電磁気現象も電子現象といえましょう!?

なお、トランスデューサはセンサとして使われることが多く、温度センサ、圧力センサ、湿度センサ、……など多数の応用がなされています。要はセンスされる量の値が電気出力から逆算でき、かつその計算式が信頼できる (安定である) もので、繰り返し使えるものであれば「何でも」センサとして使える可能性があります。

では、電磁気量を測定する、あるいは供給する場合、どのような値として測定あるいは供給するのでしょうか。

1.3.3 電磁気量，信号，雑音

図 1.6 マックスウェルの方程式の EB 表示

$\nabla \times E + \partial_t B = 0$	E : 電界, B : 磁界, t : 時間
$\nabla \cdot B = 0$	μ_0 : 媒質の透磁率, ϵ_0 : 媒質の誘電率
$\nabla \times (B/\mu_0) - \partial_t (\epsilon_0 E) = J$	J : 媒質の導電電流, ρ : 媒質の電荷密度
$\nabla \cdot (\epsilon_0 E) = \rho$	H : 磁界, D : 電束
(a) 表示	
$B/\mu_0 = H, \epsilon_0 E = D$	
(b) 磁界, 磁束の式	
単に眺めるために書いてあります。	

電磁気量の発生は、化学電池や発電機などで化学エネルギーや機械エネルギーを交換することより行われます。一度発生した電磁気量は、よく知られた（しかし理解困難な）マックスウェルの方程式に従って伝わります。

マックスウェルの方程式により、取り扱われる電磁気学の難解さは有名で、専門の学者がその難しさについて書いているくらいです⁽²⁾。

そこで、電磁気は波であるということを表す簡単な場合を考察して、どのような電磁気量が測定や供給の対象となるかを予想してみます。

図 1.6 には、いくつかあるマックスウェルの方程式の表示法のうちの一つである、EB 表示と呼ばれる表示法を「単に眺めるためだけの目的で」示しています。

この表示(a)におよび H 、 D の定義(b)に表れる量を測定できるわけです。さらに、それらの値を組み合わせて計算した値もちろん求められるわけです（例えば E/H など）。これらはすべて電磁気量となります。

これらの電磁気量のうち測定したい成分、発生したい成分を信号成分といい、それらの成分以外を雑音成分といいます。信号成分の量と雑音成分の量の比を信号対雑音比と呼び、電磁気量を信号としてみた場合の良さを表す尺度としています。この比は大きく変動するので、対数をとってベル (Bel) という単位で表しますが、ベルでは少し粗いので、その 10 分の 1 のデシベル (dB) を用いるのが普通です。比は電力について定めているので、図 1.7 に示す信号 (P_s) 対雑音 (P_n) 比 (S/N) は $10 \log (P_s/P_n)$ (dB) となります。 P_s と P_n は、それぞれ信号電力と雑音電力であり、同じインピーダンス上に発生しているわけですから、信号電圧/電流を E_s/I_s 、雑音電圧/電流を E_n/I_n とすると、 S/N は

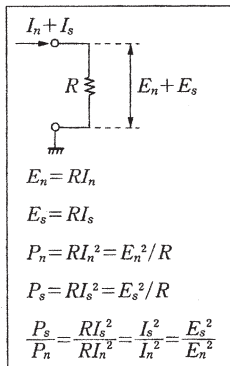


図 1.7 ベルと信号対雑音比

$$\begin{aligned}
 \left(\log \frac{P_s}{P_n} \right) (\text{B}) &= 10 \log \frac{P_s}{P_n} (\text{dB}) \\
 10 \log \frac{P_s}{P_n} &= 10 \log \frac{E_s^2/R}{E_n^2/R} \\
 &= 20 \log \frac{E_s}{E_n} \\
 &= 20 \log \frac{I_s}{I_n}
 \end{aligned}$$

$10 \log (E_s^2/E_n^2) = 20 \log (E_s/E_n) = 20 \log (I_s/I_n)$ となります (\log は常用対数)。

1.3.4 正弦波信号の表現と測定

さて、ここで信号成分が周波数 f_i (角周波数 $\omega_i = 2\pi f_i$) の正弦波の集りとして表されていると考えて、その中の一つである周波数 f_1 の正弦波を考えると、それは次のように表されています。ただし、信号電圧 E_{s1} を例としてとり上げ、 x 方向に伝わってゆくものとします (図 1.8, 図 1.9 参照)。

$$E_{s1} = A_1 \cos(\omega_1 t - k_1 x + \theta_1) \tag{1-3}$$

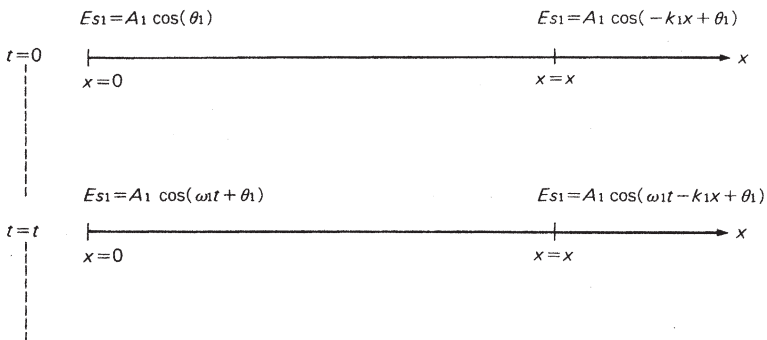
図 1.9 は上式 (1-3) を $\theta_1 = 0$ として図解したもので、 E_s の時空における分布を表したものです。

この図を見る場合注意してほしいのは、この図が波の伝わってゆく様子を示すものではなく、波が発生してから充分時間が経って、いわゆる定常状態になったとき、波がどのように分布しているかを示しているということです。例えて言えば、画家が時間 (t) と空間 (x) の画布に絵を描きつつある様子を示したのではなく、描き終えた絵の一部を切りとって眺めているのであるということです。我々には過去のみゆっくり観察できます。

図において、点線は $x = \text{一定}$ のある場所における E_{s1} の時間的な変化を何点か選んで代表的に示したものです。一方、実線の波形はある時刻 t における各地点での E_{s1} の大きさの分布を示すものです。

ω_1 は時間とともに E_s の位相がどう変化するかを表し、 k_1 は距離とともに E_s の位相がどう変化するかを表しています。

図 1.8 正弦波信号 E_{s1} の時間/距離の違いによる変化



ISBN978-4-7898-5217-3

C3055 ¥2400E

CQ出版社

定価：本体2,400円(税別)



9784789852173



1923055024007

読者のみなさまへ

復刻版「エレクトロニクス実務シリーズ」につきまして

●小社は1964年の雑誌「トランジスタ技術」創刊以来、半導体ならびにエレクトロニクスの応用技術に関する書籍を多く発行してまいりました。しかしながら過去においては、限られた印刷技術により、相応の部数を確保できないと見なした書籍につきまして、採算面の都合から重版を行わず、「重版未定」といたしました。

●近年になってデータのデジタル化および印刷技術の進歩により、少数数での印刷・製本がある程度可能となりました。オンデマンド印刷と呼ばれております。

●一方、ご存知のようにエレクトロニクス技術の進歩は著しく、「トランジスタ技術」創刊のころ主流であったトランジスタやICによるアナログ回路技術、デジタル回路技術は、マイコンの登場以来、ブラックボックス化したり、抽象化して扱う傾向が多くなりました。扱うシステム規模が大きくなってきた所以でもあります。結果、近年の読者の方には、エレクトロニクス創生の頃にあったアナログ回路やデジタル回路技術などの詳細を説明する書籍がたいへん少なくなり、説明不足のお叱りを受けるケースもございました。

●以上のことから、過去多くの好評をいただいた書籍の中から、現代においても十分有用と思われる記事を収録しました書籍に関してのみ、このたび原著作者の許諾を得て、復刻版として発行することいたしました。みなさまにご活用いただけると幸いです。

このPDFは、CQ出版社発売の「わかる電子計測技術[オンデマンド版]」の一部見本です。

内容・購入方法などにつきましては以下のホームページをご覧ください。

内容 <http://shop.cqpub.co.jp/hanbai/books/52/52171.htm>

購入方法 <http://www.cqpub.co.jp/order.htm>

……………この本はオンデマンド印刷技術で復刻しました……………

本書は、過去に小社が発行・販売いたしました書籍を光学式スキャナで読み取り、デジタル化したもの、オンデマンド印刷技術によって復刻版として用意したものです。諸々の事情により、一般書籍としての刊行時とは装丁や価格が異なり、印刷が必ずしも明瞭でなかったり、左右頁にズレが生じていることがあります。また、一般書籍最終版を概ねそのまま再現していることから、記載事項や文章に現代とは異なる表現が含まれている場合があります。事情ご賢察のうえ、ご了承くださいませようお願い申し上げます。

見本