

第 1 章 計 測 基 礎

12-11 検出部	108
12-12 操作部	108
12-13 調節器	108
12-14 調節計	108
12-15 変換器	109
12-16 プロセス制御	109
12-17 プログラム制御	110
12-18 PIDを組み合わせた動作	110
12-19 伝達関数	112
12-20 ブロック線図の例	112
3. 学習の整理	113
4. 練習問題の解答	114
(参考文献)	116

我々がものの量を表すのに、長い、短い、多い、少ないというように感覚器官（目、耳、鼻、舌、皮膚）による定性的な表現の仕方と、25メートルとか、100個とかというように数値を用いて表す定量的な表現方法とがある。この二つの表現の仕方のうち、どちらがよいかというと、時と場合によるが、ものの量を共通的な立場で、絶対的に明確に表すことが必要な場合には、定量的な表現をしなければならない。例えば、熱い湯とか冷たい水とかいうように定性的に表すのでは、人によって感覚の程度が異なり、同じ人でもそのときの状態によって違うので、何度の水というように定量的に表す必要がある。また、物事を管理するとき合理的な判断を下すことができるようになる。

ところで、ものの量を定量的に表現する方法を用いるには、数量を測る基準となる量を決めておき、その何倍の量であるかを数値によって表す方法をとるのである。この場合、単位となる量、すなわち基準にとる量を単位（計量法では計量単位）といい、その何倍の量であるかを数値によって表すために行う操作を計測（計量）または測定という。この測定の際に用いる装置や器具を計測器（計量器）または測定器という。

本章では、このような計測器および制御装置を用いて計測ならびに制御を行う際の基礎的事項と共通的問題について学習する。^{*1-1}

1. 単 位

ある量を数値で表すためには、測ろうとするもの（被測定量）が同じ種類の量の何倍であるかを知ればよいのである。この何倍であるかの比較の基準に選ばれた特定の量を単位ということは既に述べた通りである。比較の基準ということだけからいえば、各種の量に対しそれぞれ適当に単位を選定してよいのであるが、それぞれ

適当に定めなくて、他の量の単位とつながりを持たせて選定すると都合のよいことが多い。

一般に、最初に基本的な単位を選定しておけば、他の全ての単位は、物理学における法則あるいは定義に基づいて、最初に選んだ単位から導くことができる。この場合、最初に選んだ単位を基本単位といい、ある量の単位を他の量の単位につながりを持たせて定めることを単位を組み立てる、又は誘導するといひ、そして得られた単位のことを組立単位または誘導単位という。

一般社会において、多くの人達に使用でき、しかもそれが年月が経過しても変化しない単位を用いた方が、色々な面で都合がよい。これらの理由から国際間にメートル条約が締結され、現在世界の殆どの国でこのメートル条約に基づく各種の単位が用いられている。

基本単位あるいは組立単位の大きさが、そのままでは計測に不都合な場合があるので、適当にこれらの倍数や分数の大きさの単位（これを接頭語という）を設ける。

こうして一群の基本単位を基礎とし他の量の単位を組立てれば、系統的な単位の群ができる。この系を単位系という。

基本単位の選び方は自由で、それによって各種の単位系ができるが、それらはなるべく簡単であることが望ましい。基本的な量として、長さ・質量・時間をとるものを、絶対単位系といい、長さ・力の大きさ・時間をとるものを重力単位系又は工学単位系という。

絶対単位系において長さの単位にメートル、質量の単位にキログラム、時間の単位に秒を採用する単位系をMKS単位系といい、長さの単位にセンチメートル、質量の単位にグラム、時間の単位に秒をとるものをCGS単位系という。

多くの物理量は、上記の三つの基本単位から導くことができるが、熱、電磁気、光などの物理量の単位を実用的に組立てようとする場合は、これだけでは不足で、熱に関しては温度を、電磁気に関しては、例えば透磁率、誘電率、抵抗あるいは電流などの電気関係のものの中から一つを、光に関しては光度、光束などから一つの

単位を、物質量に関してはモルを取り入れなければならない。

そこで、これらを取り入れてMKS単位系を拡張した国際単位系（SI単位系）がメートル条約に基づいて1960年に国際度量衡総会（CGPM）で使用が採択された。現在殆どの国で合法的に使用でき、多くの国で使用することが義務づけられている。日本では、1991年に日本工業規格（JIS）が完全に国際単位系準拠となり、JIS Z 8203（国際単位系（SI）及びその使い方）に規定されている。計量法も1992年に改定され、元々は日本における計量の基準を定め、取引が統一基準の下に行われることを目的とした法律（度量衡法）であったが、国際単位系の採用により、国際的に計量基準を統一することと、各種計量器の正確さを維持するためのトレーサビリティの維持を主な目的とするよう変わった。

国際単位系は、7個の基本単位、2個の補助単位、及びそれから組立られる組立単位（以上をSI単位と呼ぶ）並びにそれらの10の整数乗倍（接頭語）から構成され、それらを次の表に示す。

表1-1 SI基本単位、表1-2 SI補助単位、表1-3 SI接頭語（倍数及び分数）、表1-4 組立単位

表1-1 SI基本単位

量	単位の名称	単位記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学的温度	ケルビン	K
光度	カンデラ	cd
物質量	モル	mol

表1-2 SI補助単位

量	単位の名称	単位記号
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表1-3 接頭語 (倍数および分数)

倍数	接頭語	記号	SI基本単位による表し方
$1,000,000,000,000,000,000,000,000=10^{24}$	ヨ	タ	Y
$1,000,000,000,000,000,000,000,000=10^{21}$	ゼ	タ	Z
$1,000,000,000,000,000,000,000=10^{18}$	エ	ク	サ
$1,000,000,000,000,000,000=10^{15}$	ペ	タ	P
$1,000,000,000,000=10^{12}$	テ	ラ	T
$1,000,000,000=10^9$	ギ	ガ	G
$1,000,000=10^6$	メ	ガ	M
$1,000=10^3$	キ	ロ	k
$100=10^2$	ヘ	ク	ト
$10=10^1$	デ	カ	da
$0.1=10^{-1}$	デ	シ	d
$0.01=10^{-2}$	セ	ン	チ
$0.001=10^{-3}$	ミ	リ	m
$0.000001=10^{-6}$	マ	イ	ク
$0.000000001=10^{-9}$	ナ	ノ	n
$0.0000000000001=10^{-12}$	ピ	コ	p
$0.0000000000000001=10^{-15}$	フ	エ	ム
$0.000000000000000001=10^{-18}$	ア	ト	a
$0.00000000000000000001=10^{-21}$	ゼ	ブ	ト
$0.0000000000000000000001=10^{-24}$	ヨ	ク	ト

として、次のものがある。

(1) 実用上の重要さからSI単位と併用できる単位

分 (min)、時 (h)、日 (d)、度 (°)、分 (′)、秒 (″)、
リットル (ℓ)、トン (t)

(2) 特殊の分野での有用さからSI単位と併用してもよい単位

電子ボルト (eV)、原子質量単位 (u)、天文単位 (AU)、パーセク (pc)、
バル (bar)

表1-4 組立単位

組立量	名称	記号	SI基本単位による表し方
面積	平方メートル	m ²	
体積	立方メートル	m ³	
速さ・速度	メートル毎秒	m/s	
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s ²	
密度・質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m ³	
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m ²	
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m	
(物質量の)濃度	モル毎立方メートル	mol/m ³	
比体積	立方メートル毎キログラム	m ³ /kg	
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m ²	
平面角	ラジアン	rad	m/m
立体角	ステラジアン	sr	m ² /m ²
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m・kg・s ⁻²
圧力・応力	パスカル	Pa	m ⁻¹ ・kg・s ⁻²
エネルギー・仕事・熱量	ジュール	J	m ² ・kg・s ⁻²
仕事率・工率・放射束	ワット	W	m ² ・kg・s ⁻³
電荷・電気量	クーロン	C	s・A
電位差 (電圧)・起電力	ボルト	V	m ² ・kg・s ⁻³ ・A ⁻¹
電気容量	ファラッド	F	m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
電気抵抗	オーム	Ω	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻³ ・A ⁻²
コンダクタンス	ジーメンズ	S	m ⁻² ・kg ⁻¹ ・s ³ ・A ²
磁束	ウエーバ	Wb	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻² ・A ⁻¹
磁束密度	テスラ	T	kg・s ⁻² ・A ⁻¹
インダクタンス	ヘンリー	H	m ² ・kg ⁻¹ ・s ² ・A ⁻²
光束	ルーメン	lm	cd・m ² /m ² =cd
照度	ルクス	lx	m ⁻² ・cd
放射性核種の放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	m ² ・s ⁻²
線量当量	シーベルト	Sv	m ² ・s ⁻²
酵素活性	カタール	kat	s ⁻¹ ・mol
粘度	パスカル秒	Pa・s	m ⁻¹ ・kg・s ⁻¹
力のモーメント	ニュートンメートル	N・m	m ² ・kg・s ⁻²
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	kg・s ⁻²
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	m・m ⁻¹ ・s ⁻¹ =s ⁻¹
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	m・m ⁻¹ ・s ⁻² =s ⁻²
熱容量・エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	m ² ・kg ⁻¹ ・s ⁻² ・K ⁻¹
比熱容量・比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg・K)	m ² ・s ⁻² ・K ⁻¹
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	m ² ・s ⁻²
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	m・kg ⁻¹ ・s ⁻³ ・K ⁻¹
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	m ⁻¹ ・kg ⁻¹ ・s ⁻³ ・A ⁻¹
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	m ⁻³ ・s・A
誘電率	ファラッド毎メートル	F/m	m ⁻³ ・kg ⁻¹ ・s ⁴ ・A ²
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	m ⁻¹ ・kg ⁻¹ ・s ² ・A ²
照射線量 (X線およびγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	kg ⁻¹ ・s・A
動粘度	平方メートル毎秒	m ² /s	
導電率	ジーメンズ毎メートル	S/m	m ⁻³ ・kg ⁻¹ ・s ³ ・A ²