

れた設計になっていることが、うまく動作させるコツであって、設計上どこか一ヶ所に無理があると全体の性能を悪くする。この意味で一つの芸術品であるということもできよう。

引用文献

- 6) M.R. Moldover, Phys. Rev. **182**, 342 (1969).
- 7) Experimental Thermodynamics Vol. I, Calorimetry of Non-reacting Systems Ed. by J.P. McCullough and D.W. Scott, Butterworth, London, 1968.

資 料

国際単位系 (SI) について

----- 近代化されたメートル単位系 -----

1. はじめに

桜井弘久* 三井清人*

物理量を測定するには、必ずその量の単位を正確に定める必要がある。測定された量の客観性は、究極的には単位実現の精度によって支配される。また、2つ以上の同種の測定値を間接的に比較する際には、比較を媒介する単位の定義が問題となる。したがって、単位は一義的に定まる不変量で、地域や分野をこえて統一されていることが望ましい。「メートル条約」は、この理想をめざす国際的 effort の成果である。

「メートル系単位」が学問や技術の向上に及ぼした貢献は大きかったが、ある種の学問分野や技術分野においては、メートル系以外の特別な単位系が便利であることから、多数の単位系が派生した。これらは、1つの分野内でのデータの取扱いには便利であるが、いくつかの分野にまたがる場合や、境界領域での研究には不便である。この混乱を收拾するため、1量1単位を原則とした一貫性ある単位系**が第11回国際度量衡総会において採択され、「国際単位系」(Système International d'Unités, 略称「SI」)と命名された。以下は、この単位についての簡単な解説である。

2. 国際単位系の構成

国際単位系は、国際単位(SI単位)と接頭語とから成っている。

SI単位は、明確に定義された7個の単位(基本単位)、空間的な量に関する2つの単位(補助単位)、及びこれらの単位の代数的組合せによって得られる単位(組立単位)から構成されている。すなわちSI単位は、基本単位7個を互に独立、完全とみなし、各単位間に一貫性

をもたせた単位系である。

基本単位は、「長さ」、「時間」、「質量」、「電流」、「温度」、「物質質量」、「光度」を表わす単位であり、次のように定義されている。

長さの単位は「メートル(m)」であり、1メートルは、クリプトン86の原子の準位 $2p_{10}$ と $5d_5$ との間の遷移に対応する光の、真空中における波長の1650763.73倍に等しい長さである。

時間の単位は「秒(s)」であり、1秒はセシウム133の原子の基底状態の2つの超微細準位の間の遷移に対応する放射の、9192631770周期の継続時間である。

質量の単位は「キログラム(kg)」であり、1キログラムは、国際キログラム原器の質量に等しい質量である。

電流の単位は「アンペア(A)」であり、1アンペアは、真空中に1メートルの間隔で平行に置かれた無限に小さい円形断面積を有する無限に長い2本の直線状導体のそれぞれを流れ、これらの導体の長さ1mごとに 2×10^{-7} ニュートンの力を及ぼし合う一定の電流である。ただし「ニュートン」はメートル、秒及びキログラムで表わされる組立単位である(表4参照)。

熱力学温度の単位は「ケルビン(K)」であり、1ケルビンは、水の三重重点の熱力学温度の $1/273.16$ である。

物質質量の単位は「モル(mol)」であり、1モルは0.012キログラムの炭素12の中に存在する原子の数と等しい数の構成要素を含む系の物質質量である。モルを使用するときは、構成要素が指定されなければならないが、それは原子、分子、イオン、電子、その他の粒子、または、この種の粒子の特定の集合体であってよい。

* 計量研究所第2部温度計測課：東京都板橋区加賀1-10-4

Hirohisa Sakurai, Kiyoto Mitsui: National Research Laboratory of Metrology.

** 一貫性ある(coherent)単位系とは、基本単位と組立単位、及び各組立単位間の変換係数が1であるような単位系を指す。

国際単位系 (SI) について

光度の単位は「カンデラ(ed)」であり、1カンデラは、101 325パスカルの圧力のもとで白金の凝固点の温度にある黒体の、1/600 000平方メートルの表面の垂直方向の光度である。ただし「パスカル」は、キログラム、メートル、秒で表わされる組立単位である(表4参照)。

補助単位としては、「平面角」、「立体角」の2つが定義されている。

平面角の単位は「ラジアン(rad)」で、1ラジアンは、円周上でその半径の長さに等しい長さの弧を切りとる2本の半径の間に含まれる平面角である。

立体角の単位は「ステラジアン(sr)」で、1ステラジアンは、球の中心を頂角とし、その球の半径を1辺とする正方形の面積と等しい面積をその球の表面上で切りとる立体角である。

組立単位については、使用頻度の高いものを表IVに例示してある。

SI単位系は一貫性をもっているが、量の大きさによってはこの単位で表わすと桁数の点で不便な場合がある。この不便を取り除くため、単位を10の整数乗倍して調整する方法がとられ、これを表わす接頭語11個が定義されている(表3参照)。

3. 表記法

基本単位の記号は表1に、補助単位のそれは表2に示されている。表記法のルールとして、組立単位を含めて単位記号は立体文字、一般に小文字で表わされる。しかし、記号が固有名詞から導かれた場合には(第1番目の文字に対して)大文字の立体文字が用いられる。単位記号には終止符号をつけない。

組立単位は、原理的には基本単位記号の組合わせで表記できるが、そのうちのいくつかには固有の名称と記号が与えられている(表4参照)。またその表記法は、代数記号の使い方によりいろいろ考えられるが、使用方法を統一するため次のように勧告されている。

(a) 2つ以上の単位の積は、乗法の記号としての点を用いてしるすことが望ましい。この点は、他の単位記号と混同されるおそれのない場合には省略することができる。

例: $N \cdot m$ または Nm 不適例: mN

(b) ある組立単位がひとつの単位を他の単位で除して構成される場合には、斜線(/)、水平な線または負の累乗を使用してよい。

例: m/s , $\frac{m}{s}$ または $m \cdot s^{-1}$

(c) あらゆる不明確さを避けるため、かっこを付加することなしに同一の行に2つ以上の斜線を入れてはならない。複雑な場合には負の累乗またはかっこを使わな

ければならない。

例 $\left\{ \begin{array}{l} m/s^2 \text{ または } m \cdot s^{-2} \\ m \cdot kg / (s^3 \cdot A) \text{ または } m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1} \end{array} \right.$
 不適例 $\left\{ \begin{array}{l} m/s/s \\ m \cdot kg / s^3 / A \end{array} \right.$

また接頭語に関しては、次のように勧告されている。

(a) 接頭語の記号は、立体文字で、接頭語の記号と単位の記号の間に空白を置かず印刷する。

(b) 接頭語を含む記号に指数が付されている場合、それは、単位の整数乗倍が、その指数の表わす乗数まで、累乗されることを示す。

例: 1 cm^3 10^{-6} m^3 1 cm^{-1} 10^2 m^{-1}

(c) 2個以上のSI接頭語を並べて作られる合成の接頭語は用いてはならない。

例: 1 nm 不適例: $1 \text{ m}/\mu\text{m}$

ただし、SIの諸基本単位のうち、質量の単位は、その名称が歴史的な理由で接頭語を含んでいる唯一のものである。質量の単位の10の整数乗倍の名称は、「グラム」という語に接頭語付加して構成される。したがって、 1 mkg とは書かず 1 g と書く。桁数の多い数を表わすとき読みやすくするため、3桁毎に字間(スペース)を設けるのがよい。

4. おわりに

SI単位系の主な特徴は、単位間の換算が非常に簡単に行えるという点である。1つの測定データが異なった研究分野、技術分野で容易に利用できる点と、国際的に統一されているという点で、学術雑誌等においてはSI単位系を使用することが望ましく、現在メートル条約機構や国際学術連合を通じて、世界的にその普及をめざす努力が続けられている。

参考文献

1) 国際度量衡局著、計量研訳、国際単位(SI)、

(財)日本産業技術振興会(1973)

2) 三宅 史 応用物理 43. 392 (1974)

(表1~3は1)から、表4は2)から引用したものである)

表1 SI基本単位

量	名 称	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
熱力学温度*	ケルビン	K
物 質 量	モ ル	mol
光 度	カンデラ	cd

* セルシウス温度はセルシウス度(記号°C)で表わされる。

熱 測 定

表2 SI 補助単位

量	SI 単 位	
	名 称	記 号
平 面 角	ラジアン	rad
立 体 角	ステラジアン	sr

表3 SI 接頭語

倍 数	記 号	接 頭 語 (英 語)	倍 数	記 号	接 頭 語 (英 語)
10 ¹²	T	テ ラ	10 ⁻¹	d	デ シ
10 ⁹	G	ギ ガ	10 ⁻²	c	セ ン チ
10 ⁶	M	メ ガ	10 ⁻³	m	ミ リ
10 ³	k	キ ロ	10 ⁻⁶	μ	マイ ク ロ
10 ²	h	ヘ ク ト	10 ⁻⁹	n	ナ ノ
10 ¹	da	デ カ	10 ⁻¹²	p	ピ コ
			10 ⁻¹⁵	f	フェ ム ト
			10 ⁻¹⁸	a	ア ト

表4 SI 単位と諸単位換算表

量	単位記号	単 位 名	英 語 名	換 算 関 係
時 間 ・ 空 間 時 間	s	秒*	second	
	min	分 ⁽¹⁾	minute	=60 s
	h	時 ⁽¹⁾	hour	=60 min
	d	日 ⁽¹⁾	day	=24 h
長 さ	m	メートル*	metre	
	pc	天文単位 ⁽²⁾	astronomical unit	=149.600 Gm
	Å	パーセク ⁽²⁾	parsec	≈30 857 Tm
	(μ)	海 里 ⁽³⁾	nautical mile	=1 852 m
	(μ)	オングストローム ⁽³⁾	ångström	=0.1 nm
	(μ)	(ミクロン ⁽⁵⁾)	micron	=1 μm
	(μ)	(フェルミ ⁽⁵⁾)	fermi	=1 fm
	(μ)	(X線単位 ⁽⁵⁾)	X unit	≈1.002×10 ⁻⁴ nm
面 積	(ft)	(フ ー ト ⁽⁶⁾)	1 ft=12 in=0.3048 m, 1 yd=3 ft)	
	m ²	平方メートル	square metre	
	a	ア ー ル ⁽³⁾	are	=1 dam ²
	ha	ヘクタール ⁽³⁾	hectare	=1 hm ²
体 積	b	バ ー ン ⁽³⁾	barn	=100 fm ²
	m ³	立方メートル	cubic metre	
	l	リットル ⁽¹⁾	litre	=1 dm ³
	(λ)	(ラムダ ⁽⁵⁾)	λ	=1 μl
平 面 角	(st)	(ステール ⁽⁵⁾)	stere	=1 m ³)
	rad	ラジアン	radian	
	°	度 ⁽¹⁾	degree	=(π/180)rad
立 体 角	'	分 ⁽¹⁾	minute	=(1/60)°
	''	秒 ⁽¹⁾	second	=(1/60)'
	sr	ステラジアン	steradian	
力 学 量 速 さ	m/s	メートル毎秒	metre per second	
		ノット ⁽³⁾	knot	=1 海里毎時

国際単位系 (SI) について

量	単位記号	単位名	英語名	換算関係
加 速 度	m/s ² Gal	メートル毎秒毎秒 ガ ル ⁽³⁾	metre per second squared gal	$=10^{-2} \text{ m/s}^2$
角 速 度	rad/s	ラジアン毎秒	radian per second	
角 加 速 度	rad/s ²	ラジアン毎秒毎秒	radian per second squared	
波 波 数	m ⁻¹	毎メートル	1 per metre	
周 波 数	Hz	ヘルツ	hertz	$=\text{s}^{-1}$
質 量	kg	キログラム*	kilogram	
	t	ト ン ⁽¹⁾	tonne	$=10^3 \text{ kg}$
	u	(統一)原子質量単位 ⁽²⁾	unified atomic mass unit	$\approx 1.66053 \times 10^{-27} \text{ kg}$
	(γ)	(メートル系カラット) ⁽⁵⁾	metric carat	$=200 \text{ mg}$
	(γ)	(ガンマ) ⁽⁵⁾	γ	$=1 \mu\text{g}$
	(lb)	(ポンド) ⁽⁶⁾	1 pound	$=7\,000 \text{ gr} = 0.453\,592\,37 \text{ kg}$
(質量)密度	kg/m ³	キログラム毎立方メートル		
比 体 積	m ³ /kg	立方メートル毎キログラム		
力, 重量	N (dyn) (kgf)	ニュートン (ダイ ン) ⁽⁴⁾ (重量キログラム) ⁽⁵⁾	newton dyne kilogram-force	$=\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$ $=10^{-5} \text{ N}$ $=9.806\,65 \text{ N}$
力のモーメント	N·m	メートルニュートン	metre newton	
表面張力	N/m	ニュートン毎メートル		
圧 力, 応 力	Pa bar atm	パスカル バ ー ル ⁽³⁾ 標準大気圧 ⁽³⁾ (ト ル) ⁽⁵⁾	pascal bar standard atmosphere torr	$=\text{N/m}^2$ $=10^5 \text{ Pa}$ $=101\,325 \text{ Pa}$ $=(1/760)\text{atm}$
粘 度	Pa·s (P) (St)	パスカル秒 (ポ ア ズ) ⁽⁴⁾ (ストークス) ⁽⁴⁾	pascal second poise stokes	$=0.1 \text{ Pa} \cdot \text{s}$ $=10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$
熱 力 学 量				
熱 力 学 温 度	K	ケルビン*	kelvin	
セルシウス温度	°C	セルシウス度	degree Celsius	$t(^{\circ}\text{C}) = (T - 273.15)(\text{K})$
温 度 差	K, °C	ケルビン, セルシウス度		$1^{\circ}\text{C} = 1 \text{ K}$
物 質 量	mol	モ ル*	mole	
(物質)濃度	mol/m ³	モル毎立方メートル		
エ ネ ル ギ ー	J	ジュ ー ル	joule	$=\text{N} \cdot \text{m}$
仕 事	eV	電子ボルト ⁽²⁾	electronvolt	$=0.160\,219 \text{ aJ}$
熱 量	(erg) (cal)	(エ ル グ) ⁽⁴⁾ (カロリー) ⁽⁵⁾	erg calorie,	$=10^{-7} \text{ J}$ $1 \text{ cal. T.} = 4.186\,8 \text{ J}$
工 率	W	ワ ッ ト	watt	$=\text{J/s}$
体積エネルギー	J/m ³	ジュール毎立方メートル		
質量エネルギー	J/kg	ジュール毎キログラム		
モルエネルギー	J/mol	ジュール毎モル		
熱 容 量	J/K	ジュール毎ケルビン		
比 熱	J/(kg·K)	ジュール毎キログラム毎ケルビン	joule per kilogram kelvin	
モ ル 比 熱	J/(mol·K)	ジュール毎モル毎ケルビン		
エ ン ト ロ ピ ー	J/K	ジュール毎ケルビン		
質 量 "	J/(kg·K)	ジュール毎キログラム毎ケルビン		
モ ル "	J/(mol·K)	ジュール毎モル毎ケルビン		
熱 流 密 度	W/m ²	ワット毎平方メートル		
熱 伝 導 率	W/(m·K)	ワット毎メートル毎ケルビン		
電 気・磁 気				
電 流	A	ア ン ペ ア*	ampere	
電 流 密 度	A/m ²	アンペア毎平方メートル		
磁 場 の 強 さ	A/m (Oe)	アンペア毎メートル (エルステッド) ⁽⁴⁾	oersted	$\triangleq (1\,000/4\pi)\text{A/m}$
起 磁 力	A (Gb)	ア ン ペ ア (ギルバート) ⁽⁴⁾	gilbert	$\triangleq (10/4\pi)\text{A}$

熱測定

量	単位記号	単位名	英語名	換算関係
電気量, 電荷	C	クーロン	coulomb	=s·A
体積電荷	C/m ³	クーロン毎立方メートル		
電束密度	C/m ²	クーロン毎平方メートル		
電圧, 電位	V	ボルト	volt	=W/A
電場の強さ	V/m	ボルト毎メートル		
静電容量	F	ファラッド	farad	=C/V
誘電率	F/m	ファラッド毎メートル		
電気抵抗	Ω	オーム	ohm	=V/A
コンダクタンス	S	ジーメンス	siemens	=A/V
磁束	Wb	ウェーバ	weber	=V·s
	(Mx)	(マクスウェル) ⁽⁴⁾	maxwell	△10 ⁻⁸ Wb)
磁束密度	T	テスラ	tesla	=Wb/m ²
	(Gs, G)	(ガウス) ⁽⁴⁾	gauss	△10 ⁻⁴ T)
	(γ)	(ガンマ) ⁽⁵⁾	gamma	=1 nT)
インダクタンス	H	ヘンリー	henry	=Wb/A
透磁率	H/m	ヘンリー毎メートル		
電子エネルギー	eV	電子ボルト ⁽²⁾	electronvolt	≈0.160 219 aJ
光放射線	cd	カンデラ*	candela	
光度	lm	ルーメン	lumen	=cd·sr
輝度	cd/m ²	カンデラ毎平方メートル		
	(sb)	(スチルブ) ⁽⁴⁾	stilb	=10 ⁴ cd/m ²)
照度	lx	ルクス	lux	=lm/m ²
	(ph)	(フォト) ⁽⁴⁾	phot	=10 ⁴ lx)
放射束	W	ワット	watt	=J/s
放射照度	W/m ²	ワット毎平方メートル		
放射強度	W/sr	ワット毎ステラジアン		
放射輝度	W·m ⁻² ·sr ⁻¹	ワット毎平方メートル毎ステラジアン		
放射能	s ⁻¹	毎秒	1 per second	
	Ci	キュリー ⁽³⁾	curie	=3.7×10 ¹⁰ s ⁻¹
照射線量	R	レントゲン ⁽³⁾	röntgen	=258 μC/kg
吸収線量	rd, rad	ラド ⁽³⁾	rad	=10 ⁻² J/kg

* 基本単位, (1)~(5) SI 以外の単位で次のように分類されている。

- (1) 普及度と重要性のゆえに, SI と併用する単位。
- (2) SI では実験的にしか得られないので SI と併用する単位。
- (3) 普及度から, SI との併用を一時的に維持する単位。
- (4) 研究の特別な分野でのみ SI と併用される CGS 単位。
- (5) 一般的には推奨されず, SI に置き換えられる単位。
- (6) ヤード・ポンド系単位。

かっこ内の単位は SI との併用を避けるべき単位。