単位換算の考え方と化学計算

ほうじ茶

2025 年 11 月 16 日

概要

本稿では，モル計算と濃度計算を扱う．当然ながら，試薬の調整で必要な知識である．微生物を扱う上では，寒天培地をつくる際に**どのくらいの寒天が必要なのか？**，植物の成分抽出をする上では，**エタノールの濃度はどのくらいが適切なのか？** などを考える必要がある．これらの計算ができない限り，実験系を組むことができず実験のスタートラインに立てない．そのため，まずは計算できるようになることを目的とする．

化学 Chemistry の基本的な考え方は，**すべての物質は粒で構成されている**ということである．その粒の構造や運動を，**実験的に導かれ**帰納的に体系化されていることを忘れないで欲しい．

目次

1 国際単位系 International System of units 2
- 1.1 基本単位 Basic units . . . 2
- 1.2 物質量 Amount of substance . . . 2
- 1.3 接頭辞 Prefix . . . 3
- 1.4 単位換算 Unit conversion . . . 3

2 組立単位とその意味 4
- 2.1 2 乗，3 乗のイメージ . . . 4
- 2.2 単位の構成 . . . 4
- 2.3 戸惑いやすいが換算できる単位 . . . 6
- 2.4 mol から換算できる単位 . . . 6
- 2.5 百分率は分母に 100 が隠れてる . . . 7

参考文献 a

青文字をクリックすると，対応したページに遷移する．

本稿の著作権は，CC BY-NC-SA 4.0 を適応する．

1　国際単位系 International System of units

科学 Science の世界では，測定や計算に**国際単位系** [1] という国際的に統一された単位系を使用する．この単位系を用いて**数値と単位の組**でデータを示す．この組のことを**物理量** Physical quantity という．7 つの**基本単位**を組み合わせて**組立単位**にすることで，さまざまな単位を作ることができる．組立単位を知ることによって，求めたい単位に変える**単位換算** Unit conversion を行うことができるようになる．

1.1　基本単位 Basic units

基本単位は次の 7 つである．

表 1　基本単位

データの種類	英語	単位
時間	*t*ime	[s]
距離	*r*oute	[m]
電流	*I*ntensity of current	[A]
質量	*m*ass	[kg]
絶対温度	*T*emperture	[K]
物質量	*n*umber	[mol]
光度	Luminous *I*ntensity	[cd]

モル計算や濃度計算においては，**質量** m [kg]，**物質量** n [mol] のみ登場する．それ以外は参考として載せておくので，眺めてみると良いだろう．

1.2　物質量 Amount of substance

原子 1 粒同士を比較しても，非常に小さいため明確に重さの違いは分からない．しかし，何万，何億の粒を集めて比較すると，違いが分かるようになる．かつては，炭素原子を基準として 12 [g] になるために必要な数である 6.022×10^{23} 個 (アボカドロ数) を 1 [mol] としていた．ただし，「炭素」依存での定義であり普遍性に欠ける．

ここでアボガドロ定数 N_A を $6.022,140,76 \times 10^{23}$ [/mol] と定義 [5] することで，単位の大きさを定めた．簡単に言えば，原子や分子の粒を N_A 個のことを 1 [mol] と置いた．この考えは，12 個を 1 ダースと置くのと同じである．

物質量以外が何を基準として定義されているのかは，**付録 A 節**に記載した．

1.3 接頭辞 Prefix

接頭辞とは，基本単位よりも**大きい・小さいことを表す指標**のことである．Si 接尾辞では $\times 10^{\pm 30}$ まで定まっているが，よく使われる $\times 10^{\pm 12}$ までを紹介する．

表 2　Si 接頭辞

(+) 接頭辞	英語	指数乗	(−) 接頭辞	英語	指数乗
T	Tera	$\times 10^{12}$	p	pico	$\times 10^{-12}$
G	Giga	$\times 10^{9}$	n	nano	$\times 10^{-9}$
M	Mega	$\times 10^{6}$	μ	micro	$\times 10^{-6}$
k	kilo	$\times 10^{3}$	m	milli	$\times 10^{-3}$
h	hecto	$\times 10^{2}$	c	centi	$\times 10^{-2}$
da	deca	$\times 10^{1}$	d	deci	$\times 10^{-1}$

マイナス乗は，プラス乗にすると**逆数**になる．例えば，10^{-6} は $\frac{1}{10^6}$ である．また，10^{-6} は μ と置き換えられる．この考え方ができるようになると，単位換算が容易になる．

1.4 単位換算 Unit conversion

単位は，**定義に基づいて**組み立てることで新しい単位ができる．基本的には，**同じ意味を持つもの同士を分母と分子に置き**，**約分する**ことで求めたい単位へと変える．式 (1.1) は，「**1 日は何秒か？**」を求めたものである．恐らく，一度は計算したことがあるだろう．

$$1\ [\mathrm{day}] = 1\ \cancel{[\mathrm{day}]} \times \frac{24\ \cancel{[\mathrm{hr}]}}{1\ \cancel{[\mathrm{day}]}} \times \frac{60\ \cancel{[\mathrm{min}]}}{1\ \cancel{[\mathrm{hr}]}} \times \frac{60\ [\mathrm{sec}]}{1\ \cancel{[\mathrm{min}]}} = 86,400\ [\mathrm{sec}] \tag{1.1}$$

単位換算を行う上で押さえるポイントは，最初の単位と**求めたい単位に注目し**定義として**どの物理量同士が等しいか**考え約分する必要がある．今回の場合，1 [day] と 24 [hr] は定義より等しいので，分母と分子に置くことで理論上約分でき 1 と同じ意味となる．

次に，1.3 節の接頭辞を用いた単位換算を扱う．一例として，[mL] を [L] に変える場合を考える．

$$1,000\ [\mathrm{mL}] = 1,000 \times 10^{-3}\ [\mathrm{L}] = 1\ [\mathrm{L}] \tag{1.2}$$

[mL] の m は，表 2 を参照すると指数乗は 10^{-3} である．そのため，まず**接頭辞を指数乗に変える**．そのあと，指数乗を掛けることで単位を換算できる．

当然ながら接頭辞を付けたす場合は，その指数乗の符号を変えたものを掛ければよい．一例として，式 (1.2) の逆を考える．

$$1\ [\mathrm{L}] = 1 \times 10^{+3}\ [\mathrm{mL}] = 1\ [\mathrm{mL}] \tag{1.3}$$

2　組立単位とその意味

国際単位系を乗除算して表現したい単位を新たに作り出すことができる．この単位のことを**組立単位**という．各論的に次に述べる．

2.1　2 乗，3 乗のイメージ

乗算して作り出した単位としては，square meter [m^2]，cubic meter [m^3] が挙げられる．meter [m] は一次元でありただの**直線** (図 1) である．

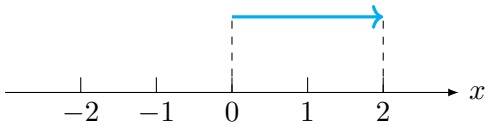


図 1　一次元のイメージ

そこに [m] を掛けると二次元となり**平面** (図 2) である．これは，**面積**と同じ意味を示している．

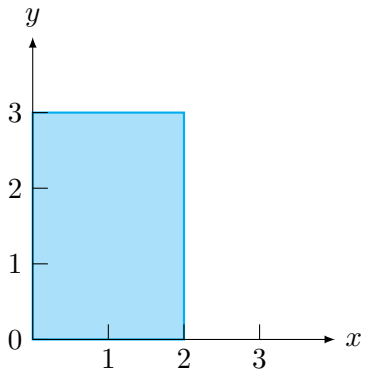


図 2　二次元のイメージ

さらに [m] を掛けると三次元となり**空間** (図 3) である．これは，**体積**と同じ意味を示している．

2.2　単位の構成

単位＊＊[*1]あたりの変化量は，分母に置くこと[*2]で表現できる．そのため，一例として 1.4 節の式 (1.1) の単位は [hr/day] とも表記でき，[/day] は **1 日あたり**という意味となる．

質量は，化学の計算においては**モル質量** [g/mol] の形で計算をする．モル質量とは，1 [mol] あたりの**質量**のことである．各原子ごとに一義の値が経験則から計算されているため，そ

[*1] **大きさを 1** に仕立てた＊＊のこと．

[*2] 一般に [$/x$] や [x^{-1}] と表記されるが，本稿では分かりやすさより $\frac{1}{x}$ を用いる．

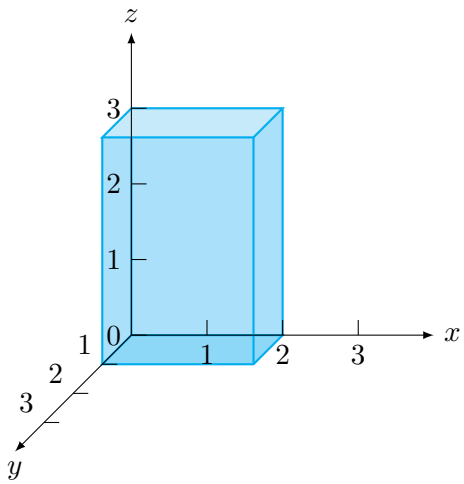
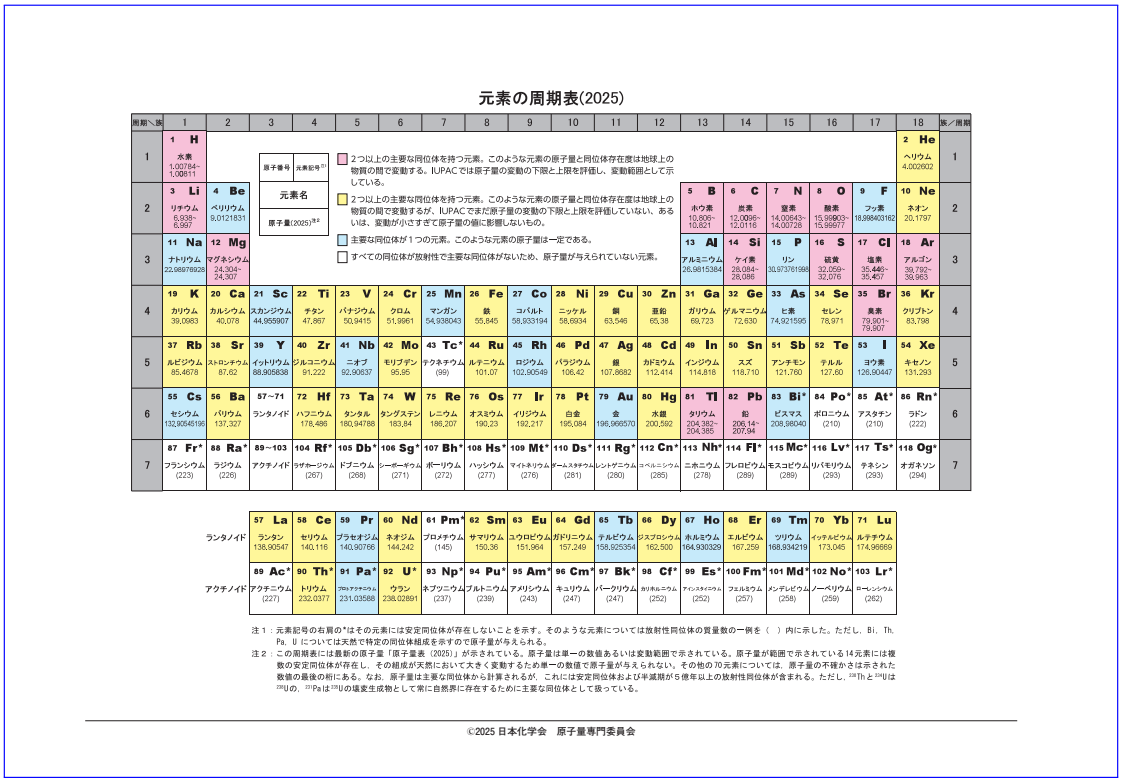


図 3　三次元のイメージ

の値を使えばよい．基本的には周期表に記載されている．日本化学会が公開している周期表を図 4 に示した．



元素の周期表(2025)

周期＼族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	族／周期
1	1 H 水素 1.00784~1.00811																	2 He ヘリウム 4.002602	1
2	3 Li リチウム 6.938~6.997	4 Be ベリリウム 9.0121831											5 B ホウ素 10.806~10.821	6 C 炭素 12.0096~12.0116	7 N 窒素 14.00643~14.00728	8 O 酸素 15.99903~15.99977	9 F フッ素 18.99840316 2	10 Ne ネオン 20.1797	2
3	11 Na ナトリウム 22.98976928	12 Mg マグネシウム 24.304~24.307											13 Al アルミニウム 26.9815384	14 Si ケイ素 28.084~28.086	15 P リン 30.973761998	16 S 硫黄 32.059~32.076	17 Cl 塩素 35.446~35.457	18 Ar アルゴン 39.792~39.963	3
4	19 K カリウム 39.0983	20 Ca カルシウム 40.078	21 Sc スカンジウム 44.955907	22 Ti チタン 47.867	23 V バナジウム 50.9415	24 Cr クロム 51.9961	25 Mn マンガン 54.938043	26 Fe 鉄 55.845	27 Co コバルト 58.933194	28 Ni ニッケル 58.6934	29 Cu 銅 63.546	30 Zn 亜鉛 65.38	31 Ga ガリウム 69.723	32 Ge ゲルマニウム 72.630	33 As ヒ素 74.921595	34 Se セレン 78.971	35 Br 臭素 79.901~79.907	36 Kr クリプトン 83.798	4
5	37 Rb ルビジウム 85.4678	38 Sr ストロンチウム 87.62	39 Y イットリウム 88.905838	40 Zr ジルコニウム 91.222	41 Nb ニオブ 92.90637	42 Mo モリブデン 95.95	43 Tc* テクネチウム (99)	44 Ru ルテニウム 101.07	45 Rh ロジウム 102.90549	46 Pd パラジウム 106.42	47 Ag 銀 107.8682	48 Cd カドミウム 112.414	49 In インジウム 114.818	50 Sn スズ 118.710	51 Sb アンチモン 121.760	52 Te テルル 127.60	53 I ヨウ素 126.90447	54 Xe キセノン 131.293	5
6	55 Cs セシウム 132.90545196	56 Ba バリウム 137.327	57~71 ランタノイド	72 Hf ハフニウム 178.486	73 Ta タンタル 180.94788	74 W タングステン 183.84	75 Re レニウム 186.207	76 Os オスミウム 190.23	77 Ir イリジウム 192.217	78 Pt 白金 195.084	79 Au 金 196.966570	80 Hg 水銀 200.592	81 Tl タリウム 204.382~204.385	82 Pb 鉛 206.14~207.94	83 Bi* ビスマス 208.98040	84 Po* ポロニウム (210)	85 At* アスタチン (210)	86 Rn* ラドン (222)	6
7	87 Fr* フランシウム (223)	88 Ra* ラジウム (226)	89~103 アクチノイド	104 Rf* ラザホージウム (267)	105 Db* ドブニウム (268)	106 Sg* シーボーギウム (271)	107 Bh* ボーリウム (272)	108 Hs* ハッシウム (277)	109 Mt* マイトネリウム (276)	110 Ds* ダームスタチウム (281)	111 Rg* レントゲニウム (280)	112 Cn* コペルニシウム (285)	113 Nh* ニホニウム (278)	114 Fl* フレロビウム (289)	115 Mc* モスコビウム (289)	116 Lv* リバモリウム (293)	117 Ts* テネシン (293)	118 Og* オガネソン (294)	7

ランタノイド	57 La ランタン 138.90547	58 Ce セリウム 140.116	59 Pr プラセオジム 140.90766	60 Nd ネオジム 144.242	61 Pm* プロメチウム (145)	62 Sm サマリウム 150.36	63 Eu ユウロピウム 151.964	64 Gd ガドリニウム 157.249	65 Tb テルビウム 158.925354	66 Dy ジスプロシウム 162.500	67 Ho ホルミウム 164.930329	68 Er エルビウム 167.259	69 Tm ツリウム 168.934219	70 Yb イッテルビウム 173.045	71 Lu ルテチウム 174.96669
アクチノイド	89 Ac* アクチニウム (227)	90 Th* トリウム 232.0377	91 Pa* プロトアクチニウム 231.03588	92 U* ウラン 238.02891	93 Np* ネプツニウム (237)	94 Pu* プルトニウム (239)	95 Am* アメリシウム (243)	96 Cm* キュリウム (247)	97 Bk* バークリウム (247)	98 Cf* カリホルニウム (252)	99 Es* アインスタイニウム (252)	100 Fm* フェルミウム (257)	101 Md* メンデレビウム (258)	102 No* ノーベリウム (259)	103 Lr* ローレンシウム (262)

注 1：元素記号の右肩の*はその元素には安定同位体が存在しないことを示す。そのような元素については放射性同位体の質量数の一例を（　）内に示した。ただし，Bi，Th，Pa，U については天然で特定の同位体組成を示すので原子量が与えられる。

注 2：この周期表には最新の原子量「原子量表（2025）」が示されている。原子量は単一の数値あるいは変動範囲で示されている。原子量が範囲で示されている14元素には複数の安定同位体が存在し，その組成が天然において大きく変動するため単一の数値で原子量が与えられない。その他の70元素については，原子量の不確かさは示された数値の最後の桁にある。なお，原子量は主要な同位体から計算されるが，これには安定同位体および半減期が5億年以上の放射性同位体が含まれる。ただし，^{232}Th と ^{238}U は ^{230}U の，^{231}Pa は ^{235}U の壊変生成物として常に自然界に存在するために主要な同位体として扱っている。

©2025 日本化学会　原子量専門委員会

図 4　周期表 [7]

2.3 戸惑いやすいが換算できる単位

ここから先の内容は，知っているか知らないかの 0 と 1 である．そのため，簡単に表にまとめる程度にする．まずは，一見では換算できなさそうだけど定義上同じものである[*3]．

表 3 戸惑いやすいが換算できる単位

体積と質量	1 [cc]	=	1 [mL]	=	1 [g][*4]
体積と密度	1 [L]	:=	1 [dm^3]	=	0.001 [m^3]
モル濃度 Molarity	1 [M]	:=	1 [mol/L]		
規定度 Normality	1 [N]	:=	1 [M] × Eq.	=	1 [N][*5]

2.4 mol から換算できる単位

mol を含んだ組立単位を表 4 に示す．

表 4 mol から換算できる単位

物質量とアボガドロ定数	1 [mol]	:=	6.022×10^{23} [個/mol][*6]
物質量と気体の体積	1 [mol]	:=	22.4 [L/mol]
物質量と液体の体積	1 [mol]	:=	$\frac{nm}{\rho}$ [mL/mol][*7]
物質量と固体の体積	1 [mol]	:=	$\frac{nm}{\rho}$ [cm^3/mol]

モル質量は大きく 3 つある．原子量，分子量，式量である．ただし，この 3 つは**無単位量**[*8]として扱われているが，相対質量がモル質量と一致するので単位としては [g/mol] で良い．

表 5 原子量，分子量，式量

Weight	略称	対象
原子量 Atomic Weight	A.W.	単一原子
分子量 Molecular Weight	M.W.	共有結合の分子
式量 Formula Weight	F.W.	イオン・塩などの化学式

[*3] 通常の = は同じことを示しているが，:= は**左辺を右辺と定義する**という意味である．

[*4] 4°C の水基準である．それ以外では，値が前後することがあるので正確に量り取るときには適さない．

[*5] モル質量に価数 Eq. を乗算したものである．価数は，化学式で表現したときの H^+ または OH^- の数である．Eq. = 1 のとき，モル濃度と同じである．

[*6] アボガドロ定数の単位は，一般には「個」を省略して [/mol] を用いる．

[*7] n を物質量，m をモル質量，ρ を密度とする．

[*8] これらは，相対質量として定められている．$^{12}C = 12$ を基準として，**比の形**で他の原子量を表現する．そのため，単位が約分され無単位量として扱われる．正確な数値は，国際純正・応用化学連合 IUPAC によって承認されている．

2.5　百分率は分母に 100 が隠れてる

ここからは，濃度の計算を扱う．試薬の調製において，特定のモル濃度や規定度に合わせるときに使う．質量 weight [g] と体積 volume [mL] の違いの組み合わせで，大きく 3 つの濃度がある．

表 6　質量 % 濃度，質量/体積 % 濃度，体積 % 濃度

Concentration	単位	意味	単位換算用単位	対象
質量百分率	(w/w)%	溶液 100 [g] 中の溶質の [g] 数	[g/100g]	粉末混合
質量対体積百分率	(w/v)%	溶液 100 [g] 中の溶質の [mL] 数	[g/100mL]	滴定
体積百分率	(v/v)%	溶液 100 [mL] 中の溶質の [L] 数	[mL/100mL]	溶媒混合

またよく使うものを，事前に高濃度で**ストック溶液 stock solution** として用意されている．これを**作業溶液 working solution** にするためには，希釈 dilution して濃度を下げる操作を行う．

これは単純で，希釈前と希釈後の物質量が**変化しない**ということさえ押さえておけばよい．モル [mol] はモル濃度 [mol/L] と体積 [L] の積で求められるので，式 (2.1) が成立する．

$$a\ [\mathrm{mol/L}] \times b\ [\mathrm{L}] = x\ [\mathrm{mol/L}] \times y\ [\mathrm{L}] \tag{2.1}$$

これで本稿は以上とする．以下に参考文献，付録を追加してある，必要に応じて参考にして欲しい．

参考文献

[1] 産総研 計量標準総合センター. 国際単位系（si）. https://unit.aist.go.jp/nmij/library/si-units.

[2] 科学技術振興機構 香取創造時空間プロジェクト. 世界を変える 1 秒の誕生. https://www.jst.go.jp/erato/katori/feature.

[3] 中野享 山田善郎. 熱力学温度の単位「ケルビン」の定義改定. https://unit.aist.go.jp/nmij/public/report/si-brochure/pdf/5_SI_%E3%82%B1%E3%83%AB%E3%83%93%E3%83%B3.pdf.

[4] 森北出版. 「アンペア」の定義のこれまでといま. https://note.com/morikita/n/n0d9537d45ce1.

[5] 倉本直樹. 物質量の単位「モル」の基礎解説とアボガドロ定数にもとづく新たな定義を導いた計測技術. https://unit.aist.go.jp/nmij/public/report/si-brochure/pdf/6_SI_%E3%83%A2%E3%83%AB.pdf.

[6] 藤井賢一. プランク定数にもとづくキログラムの新しい定義. https://www.jstage.jst.go.jp/article/jaesjb/61/10/61_716/_pdf/-char/en.

[7] 日本化学会. 原子量表／化学で使われる量・単位・記号. https://www.chemistry.or.jp/know/atom-unit.

付録 A　基本単位の定義

基本単位には，**一義性**[*9]と**普遍性**[*10]を持った基準が必要であり世界共通のものである．その**厳密な定義** [1] を紹介する．

時間の定義 [2]

原子や分子には，固有の振動数の光や電波を吸収し放射する性質がある．その性質を利用して，セシウム原子のマイクロ波の振動 $\Delta\nu_{\mathrm{Cs}}$ を，$9,192,631,770$ 回数えたときを 1 秒と定義した．[Hz][*11]は**単位時間あたりの振動数**のことであり，[/s] と同じ意味である．

距離の定義

真空中の光の速さ c を $299,792,458$ [m/s] と定めることによって定義した．

電流の定義 [4]

かつては，真空中に 1 [m] 間隔で平行に置いた無限に長い 2 本の導体がそれぞれを流れ，これらの導体の長さ 1 [m] につき 2×10^{-7} [N] の力を及ぼし合う一定の電流を 1 [A] としていた．ただし，電流の単位を力として定義している．これは**電流は素粒子の流れ**であるという本質が分かっていなかったためである．そのため，2019 年に改定された．

新たに電気素量 e[*12]を $1.602,176,634\times10^{-19}$ [C] と定めることによって定義した．[C] は**単位時間あたりの電気量**のことであり，[A · s] と同じ意味である．

質量の定義 [6]

かつては，国際キログラム原器（白金とイリジウムの合金で出来た円柱）の質量を 1 [kg] としていた．ただし，経年劣化により一義性に欠けるため，電流と同様に 2019 年に改定された．

物体の静止質量を m，光子の周波数を ν，プランク定数を h とすると，アインシュタインの相対性理論と光量子仮説によれば式 (付録 A.1) である．

$$E = mc^2 = h\nu \tag{付録 A.1}$$

ここでプランク定数 h を $6.626,070,15\times10^{-34}$ [J · s] と定義することで，周波数 ν [Hz] の光子のエネルギー E と等価な質量が m [kg] である．

---

*9 ただ 1 つに定まる性質のこと．

*10 広く全ての場合にあてはめることができる性質のこと．

*11 ヘルツは，**回数**を示す単位である．

*12 ファラデー定数（電子 1 [mol] が持つ電気量の値のこと）を F，アボガドロ定数を N_A とすると，$e=\frac{F}{N_A}$ でも求められる．

絶対温度の定義 [3]

かつては，氷と水，水蒸気が共存する温度 0.01°C の約 273 分の 1 を 1 [K] としていた．ただし，「水」という物質に依存しており，かつ三重点の実現可能性が低いため電流と同様に 2019 年に改定された．

理想気体の場合，個々の分子は他の分子と衝突するとき以外は自由に動く．1 個の単原子の平均の運動エネルギーは，質量 m，2 乗平均速度 $\overline{v^2}$，ボルツマン定数 k，絶対温度 T とすると式 (付録 A.2a) である．

$$\frac{1}{2}m\overline{v^2} = \frac{3}{2}kT \tag{付録 A.2a}$$

一方で，理想気体の分子 nN_A 個[*13]を体積 V の容器に入れた場合，その圧力 p は，質量 m と 2 乗平均速度 $\overline{v^2}$ とすると式 (付録 A.2b) である．

$$p = \frac{1}{3}\frac{nN_A m}{V}\overline{v^2} \tag{付録 A.2b}$$

式 (付録 A.2a) と (付録 A.2b) より，式 (付録 A.2c) の理想気体の状態方程式が得られる．

$$p(T)V = nN_A kT \tag{付録 A.2c}$$

エネルギーは [J] = [kg · m^2/s^2] で表される．ここでボルツマン定数 k を $1.380,649 \times 10^{-23}$ [J/K] と定義することで，単位の大きさを定めることと同じになる．

光度の定義

特定の周波数 540×10^{12} [Hz] の緑色の光を出す特定の方向に，放射強度 K_{cd} が 683 [lm/W] である点光源の光度を，1 [cd] と定義した．

[*13] N_A はアボガドロ定数であり，ボルツマン定数 k と乗算することで気体定数 R となる．

付録 B　ギリシャ文字 Greek alphabet

よく数式の記号でギリシャ文字が用いられるので，知っていると役に立つだろう．

表 7　ギリシャ文字

読み方		大文字	小文字	読み方		大文字	小文字
alpha	ｱﾙﾌｧ	A	α	beta	ﾍﾞｰﾀ	B	β
gamma	ｶﾞﾝﾏ	Γ	γ	delta	ﾃﾞﾙﾀ	Δ	δ
epsilon	ｲﾌﾟｼﾛﾝ	E	ε, ϵ	zeta	ｾﾞｰﾀ	Z	ζ
eta	ｲｰﾀ	H	η	theta	ｼｰﾀ	Θ	θ, ϑ
iota	ｲｵﾀ	I	ι	kappa	ｶｯﾊﾟ	K	κ
lambda	ﾗﾑﾀﾞ	Λ	λ	mu	ﾐｭｰ	M	μ
nu	ﾆｭｰ	N	ν	omicron	ｵﾐｸﾛﾝ	O	o
xi	ｸｼｰ, ｸﾞｻﾞｲ	Ξ	ξ	pi	ﾊﾟｲ	Π	π, ϖ
pho	ﾛｰ	P	ρ, ϱ	sigma	ｼｸﾞﾏ	Σ	σ, ς
tau	ﾀｳ	T	τ	upsilon	ｳﾌﾟｼﾛﾝ	Υ	υ
phi	ﾌｧｲ	Φ	ϕ, φ	chi	ｶｲ	X	χ
psi	ﾌﾟｻｲ	Ψ	ψ	omega	ｵﾒｶﾞ	Ω	ω