

単位換算の考え方と化学計算

ほうじ茶

2025年12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し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 を行な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	time	[s]
距離	route	[m]
電流	Intensity of current	[A]
質量	mass	[kg]
絶対温度	Temperture	[K]
物質量	number	[mol]
光度	Luminous Intensity	[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	photo	$\times 10^{-12}$
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。

$$1 \text{ [day]} = 1 \text{ [day]} \times \frac{24 \text{ [hr]}}{1 \text{ [day]}} \times \frac{60 \text{ [min]}}{1 \text{ [hr]}} \times \frac{60 \text{ [sec]}}{1 \text{ [min]}} = 86,400 \text{ [sec]} \quad (1.1)$$

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。

$$1,000 \text{ [mL]} = 1,000 \times 10^{-3} \text{ [L]} = 1 \text{ [L]} \quad (1.2)$$

[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。その後、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。

$$1 \text{ [L]} = 1 \times 10^{+3} \text{ [mL]} = 1 \text{ [mL]} \quad (1.3)$$

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。

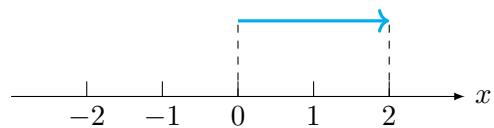


図 1 一次元のイメージ

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。

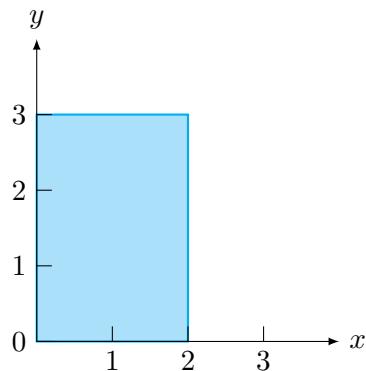


図 2 二次元のイメージ

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。

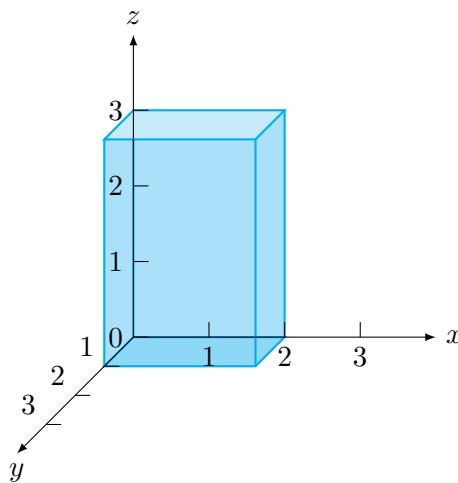


図3 三次元のイメージ

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)																		新規
周期\族	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	1 H 水素 1,00784 1,00811																2 He ヘリウム 4,020302	
2	3 Li リチウム 6,938 6,967	4 Be ベリリウム 9,0121831																
3	11 Na ナトリウム 22,98976928	12 Mg マグネシウム 24,304 24,304															18 Ne ネオン 20,1797	
4	19 K カリウム 39,989	20 Ca カルシウム 40,078	21 Sc スカンドイウム 44,95967	22 Ti チタニウム 47,907	23 V ヴァニadium 50,9415	24 Cr クロム 52,9561	25 Mn マンガン 54,93804	26 Fe 鉄 55,845	27 Co コバルト 58,93194	28 Ni ニッケル 58,934	29 Cu 銅 63,646	30 Zn 亜鉛 65,38	31 Ga ガリウム 68,723	32 Ge ジルコニウム 72,830	33 As アスベスト 74,9211599	34 Se セレン 78,971	35 Br ブリッジ 82,768	36 Kr クライソン 87,951
5	37 Rb ルビウム 85,4678	38 Sr ストロンチウム 87,82	39 Y イットリウム 88,96868	40 Zr ツタニウム 91,222	41 Nb ニオブ 91,907	42 Mo モリブデン (99)	43 Tc* テクネシウム 101,057	44 Ru ルテニウム 102,90549	45 Rh ロジウム 106,42	46 Pd パラジウム 107,8682	47 Ag 銀 112,414	48 Cd カドミウム 116,816	49 In インジウム 119,7160	50 Sn スズ 121,760	51 Sb アンチモン 127,760	52 Te テルル 131,293	53 I ヨウ素 131,50447	54 Xe キセノン 131,293
6	55 Cs セシウム 132,9054519	56 Ba バ륨 137,327	57~71 ランゴノイド 137,327	72 Hf ハフニウム 148,94788	73 Ta タントル 148,207	74 W タングステン 163,84	75 Re ラジウム 165,207	76 Os オスミウム 169,217	77 Ir イリジウム 176,494	78 Pt 白金 195,084	79 Au 金 198,0652	80 Hg 水銀 204,382	81 Tl タリウム 206,14	82 Pb 鉛 208,38040	83 Bi* ビスマス 210,178	84 Po* ポリマス 212,178	85 At* アストラシ 212,178	86 Rn* ラドン (222)
7	87 Fr* フランシウム (223)	88 Ra* ラトニウム (226)	89~103 アクチノイド (227)	104 Rf* アクチニウム (228)	105 Db* ドニウム (229)	106 Sg* セカンドニウム (227)	107 Bh* ベーリウム (227)	108 Hs* ハシモウム (227)	109 Mt* マントニウム (227)	110 Ds* ダースニウム (227)	111 Rg* ラジオニウム (227)	112 Cn* コハニウム (228)	113 Nh* ニホニウム (228)	114 Fl* フレビウム (228)	115 Mc* メスニウム (229)	116 Lv* リバビウム (229)	117 Ts* チタニウム (229)	118 Og* オガニソウム (224)
	57 La ランタン 136,90547	58 Ce セリウム 146,117	59 Pr プラセオリウム 146,90766	60 Nd ネオジム 146,424	61 Pm* プロトセリウム 150,156	62 Sm スモリウム 151,164	63 Eu ユーロピウム 157,248	64 Gd ガドリウム 158,85538	65 Tb チタニウム 162,500	66 Dy ジンクルウム 164,930329	67 Ho ホウルム 167,259	68 Er エリオドリウム 168,934249	69 Tm ティラルウム 173,046	70 Yb ヨウルタリウム 174,95999	71 Lu ルテルルウム 177,034			
	89 Ac* アクチニウム (227)	90 Th* トリウム 222,0377	91 Pa* ラジウム 231,03968	92 U* ウラン 238,029691	93 Np* ネプチニウム (227)	94 Pu* プロトセリウム (229)	95 Am* アシジウム (240)	96 Cm* キヨリウム (241)	97 Bk* バーベリウム (247)	98 Cf* カーネルウム (250)	99 Es* エスセリウム (252)	100 Fm* フレビウム (257)	101 Md* メスニウム (258)	102 No* リバビウム (259)	103 Lr* セシルリウム (262)			

注1: 元素記号の右側の「*」はその元素には安定同位体が存在しないことを示す。ど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についてでは天然で特異の同位体が極めて多く存在するため原子量が与えられない。

注2: この周期表には最新の原子量（2025年）が示されている。原子量は同一の元素において大きく変動するため表の一例を示している。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、その組合せにおいて大きく変動するため表の一例を示している。原子量が与えられない。他の70元素については、原子量の複数かさは示された数値の最後の桁にある。なお、原子量は主な同位体から計算されるが、これ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、²²⁸Thと²³²Uの、²³⁸Paは²³⁰Taの爆発生成物として常に自然界に存在するために主な同位体として扱っている。

図4 周期表 [7]

2.3 戸惑いやさし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 戸惑いやさし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]	$:$	$1 \text{ [dm}^3]$	$=$	$0.001 \text{ [m}^3]$
モル濃度 Molarity	1 [M]	$:$	1 [mol/L]		
規定度 Normality	1 [N]	$:$	$1 \text{ [M]} \times \text{Eq.}$	$=$	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]	$:$	$6.022 \times 10^{23} \text{ [個/mol]}$	^{*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]	$:$	$\frac{nm}{\rho} \text{ [mL/mol]}$	^{*7}
物質量と固体の体積	1 [mol]	$:$	$\frac{nm}{\rho} \text{ [cm}^3/\text{mol]}$	

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} モル質量に係数 Eq. を乗算したものである。係数は、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。¹²C = 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、單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を使う。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、希釀 dilution して濃度を下げる操作を行う。

これは単純で、希釀前と希釀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。

$$a \text{ [mol/L]} \times b \text{ [L]} = x \text{ [mol/L]} \times y \text{ [L]} \quad (2.1)$$

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. 热力学温度の単位「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 $\Delta\nu_{\text{Cs}}$ を、9,192,631,770 回数えたときを1秒と定義した。 $[\text{Hz}]^{*11}$ は単位時間あたりの振動数のことであり、 $[\text{s}]$ 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 $[\text{m}/\text{s}]$ 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 $[\text{m}]$ 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 $[\text{m}]$ につき $2 \times 10^{-7} [\text{N}]$ の力を及ぼし合う一定の電流を 1 $[\text{A}]$ 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 $1.602,176,634 \times 10^{-19} [\text{C}]$ と定めることによって定義した。 $[\text{C}]$ は単位時間あたりの電気量のことであり、 $[\text{A} \cdot \text{s}]$ 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 $[\text{kg}]$ 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。

$$E = mc^2 = h\nu \quad (\text{付録 A.1})$$

ここでプランク定数 h を $6.626,070,15 \times 10^{-34} [\text{J} \cdot \text{s}]$ と定義することで、周波数 ν $[\text{Hz}]$ の光子のエネルギー E と等価な質量が m $[\text{kg}]$ 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 $[\text{mol}]$ 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 個の单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。

$$\frac{1}{2}mv^2 = \frac{3}{2}kT \quad (\text{付録 A.2a})$$

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。

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

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。

$$p(T)V = nN_A kT \quad (\text{付録 A.2c})$$

エネルギーは $[J] = [\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2]$ で表される。ここでボルツマン定数 k を $1.380,649 \times 10^{-23} \text{ [J/K]}$ 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 $540 \times 10^{12} \text{ [Hz]}$ 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	ベータ	B	β
gamma	ガンマ	Γ	γ	delta	デルタ	Δ	δ
epsilon	イプシロン	E	ε, ϵ	zeta	ゼータ	Z	ζ
eta	イータ	H	η	theta	シータ	Θ	θ, ϑ
iota	イオタ	I	ι	kappa	カッパ	K	κ
lambda	ラムダ	Λ	λ	mu	ミュー	M	μ
nu	ニュー	N	ν	omicron	オミクロ	O	o
xi	クシ-, ケザイ	Ξ	ξ	pi	パイ	Π	π, ϖ
pho	ロー	P	ρ, ϱ	sigma	シグマ	Σ	σ, ς
tau	タウ	T	τ	upsilon	ウプシロン	Υ	v
phi	ファイ	Φ	ϕ, φ	chi	カイ	X	χ
psi	フサイ	Ψ	ψ	omega	オメガ	Ω	ω