

化学で使われる量・単位・記号

日本化学会 単位・記号専門委員会

2019年5月20日にSI基本単位の定義が変更された。この資料は国際度量衡総会の議事録とSI文書（参考文献1）およびCommittee on Data for Science and Technology (CODATA 2022：参考文献2)に基づいている。詳細は、これらの文献で確認されることをお勧めする。

1. SI基本単位と物理量

物理量（自明のときには量と略してもよい）の値は、一般に「数値と単位の積」として表される。たとえば、「A4用紙の横幅の長さ l は 21 cm である」というのは、「長さを国際的に合意された“cm”という単位との比で表すと、 l は cm の 21 倍である」という意味であり、 $l/\text{cm}=21$ または $l=21\text{ cm}$ と表される。単位の名称・定義・記号に関する合意は、国際度量衡総会で行われている。

下記の7個の基本量の積または商の形で表した次元系を用いると、いろいろな量を組立てることができる。国際単位系（略してSI）は、これら7個の基本量をもつ次元にそれぞれ対応する次元をもつ7個の基本単位を基礎として構成されている。基本単位の定義は参考文献3および1に記されている。日本をはじめ世界のほぼすべての国では、計量に関する法規をSIに基づいて制定している。基本単位の名称と記号は次のとおりである。

| 物 理 量 | 量 | 記号 | SI 単 位 の 名 称 | 単位記号 |
|-------|---------------------------|-------|--------------------|------|
| 長 さ | length | l | メ ー ト ル metre | m |
| 質 量 | mass | m | キ ロ グ ラ ム kilogram | kg |
| 時 間 | time | t | 秒 second | s |
| 電 流 | electric current | I | ア ン ペ ア ampere | A |
| 熱力学温度 | thermodynamic temperature | T | ケ ル ビ ン kelvin | K |
| 物 質 量 | amount of substance | n | モ ル mole | mol |
| 光 度 | luminous intensity | I_v | カ ン デ ラ candela | cd |

物理量の記号は、ローマ文字またはギリシャ文字の1文字を用い、イタリック体（斜体）で印刷する。その内容をさらに明確にしたいときには、上つき添字または下つき添字（あるいは両方）に固有の意味をもたせて用い、さらに場合に応じて、記号の直後に説明をカッコに入れて加える。単位の記号はローマン体（立体）で印刷する。物理量の記号にも単位の記号にも、終わりにはピリオドをつけない。

「モル」という基本単位 mol の定義は、「 $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ の要素粒子 (elementary entity) を含む系の物質量」である（2019年5月に定義改定。詳しくは化学と工業 70, 827 (2017) および化学と教育 65, 462 (2017) 参照）。この単位で表される「物質量」という基本量 $n(X)$ は、対象としている試料を構成している要素粒子 X の数 $N(X)$ に比例する [$n(X) = N(X)/N_A$]。すなわち、この比例定数はアボガドロ定数 N_A の逆数である。「要素粒子」とは「原子、分子、イオン、電子、光子、その他の粒子または前記粒子の特定の集合体」である。モルという単位を用いるときには、かならず要素粒子を化学式などで指定しなければならない。物質量を表していることが文脈から明らかであれば、略して単に、たとえば「この実験に用いた酸素分子 O_2 の量は 1 mol である」と表現してもよい。なお、「物質量」は昔から「モル数」とよばれていたが、「量の用語には特定の単位名を用いない」という基本原則に従って、「モル数、ミリモル数」などの用語は認められていない。これは「質量」という一般的な用語を、用いる単位により「キログラム数、ポンド数」などとよばないのと同様である。

2. SI 接頭語

SI 単位の 10 進の倍量および分量を表すために SI 接頭語が使われる。それらの名称と記号は次のとおりである^{a)}。

| 倍 数 | 接 頭 語 | 記 号 | 倍 数 | 接 頭 語 | 記 号 |
|-----------|--------------|-----|------------|----------------|-------|
| 10 | デ カ deca | da | 10^{-1} | デ シ deci | d |
| 10^2 | ヘ ク ト hecto | h | 10^{-2} | セ ン チ centi | c |
| 10^3 | キ ロ kilo | k | 10^{-3} | ミ リ milli | m |
| 10^6 | メ ガ mega | M | 10^{-6} | マイ ク ロ micro | μ |
| 10^9 | ギ ガ giga | G | 10^{-9} | ナ ノ nano | n |
| 10^{12} | テ ラ tera | T | 10^{-12} | ピ コ pico | p |
| 10^{15} | ペ タ peta | P | 10^{-15} | フェ ム ト femto | f |
| 10^{18} | エク サ exa | E | 10^{-18} | ア ト atto | a |
| 10^{21} | ゼ タ zetta | Z | 10^{-21} | ゼ プ ト zepto | z |
| 10^{24} | ヨ タ yotta | Y | 10^{-24} | ヨ ク ト yocto | y |
| 10^{27} | ロ ナ ronna | R | 10^{-27} | ロ ン ト ronto | r |
| 10^{30} | ク エ タ quetta | Q | 10^{-30} | ク エ ク ト quecto | q |

a) 質量の単位の 10 進の分量あるいは倍量は、グラムに単一の接頭語をつけて表示する。たとえば、mg (μkg と書かない)；Mg (kkg と書かない)。

3. 固有の名称と記号をもつ SI 組立単位の例^{a)}

| 物 理 量 | SI 単 位 の 名 称 | 記号 | SI 基本単位による表現 |
|-----------------------|-----------------------|-----|---|
| 周波数・振動数 | ヘルツ hertz | Hz | s ⁻¹ |
| 力 | ニュートン newton | N | m kg s ⁻² |
| 圧力, 応力 | パスカル pascal | Pa | m ⁻¹ kg s ⁻² (= N m ⁻²) |
| エネルギー, 仕事, 熱量 | ジュール joule | J | m ² kg s ⁻² (= N m = Pa m ³) |
| 工率, 仕事率 | ワット watt | W | m ² kg s ⁻³ (= J s ⁻¹) |
| 電荷・電気量 | クーロン coulomb | C | s A |
| 電位差(電圧)・起電力 | ボルト volt | V | m ² kg s ⁻³ A ⁻¹ (= J C ⁻¹) |
| 静電容量・電気容量 | ファラド farad | F | m ⁻² kg ⁻¹ s ⁴ A ² (= C V ⁻¹) |
| 電気抵抗 | オーム ohm | Ω | m ² kg s ⁻³ A ⁻² (= V A ⁻¹) |
| コンダクタンス | ジーメンズ siemens | S | m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ² (= Ω ⁻¹) |
| 磁束 | ウェーバ weber | Wb | m ² kg s ⁻² A ⁻¹ (= V s) |
| 磁束密度 | テスラ tesla | T | kg s ⁻² A ⁻¹ (= V s m ⁻²) |
| インダクタンス | ヘンリー henry | H | m ² kg s ⁻² A ⁻² (= V A ⁻¹ s) |
| セルシウス温度 ^{b)} | セルシウス度 degree Celsius | °C | K |
| 平面角 | ラジアン radian | rad | 1 |
| 立体角 | ステラジアン steradian | sr | 1 |
| 放射能 ^{c)} | ベクレル becquerel | Bq | s ⁻¹ |
| 吸収線量 ^{c)} | グレイ gray | Gy | m ² s ⁻² (= J kg ⁻¹) |
| 線量当量 ^{c)} | シーベルト sievert | Sv | m ² s ⁻² (= J kg ⁻¹) |
| 酵素活性 ^{c)} | カタール katal | kat | mol s ⁻¹ |

a) 人名に由来する単位の記号は大文字で始め, その他の単位記号はすべて小文字とする。この原則は, 4. SI 以外の単位にも適用される。ただし体積の単位リットル l (下の表 4.1 参照) は数字の 1 とまぎらわしいので, 例外として大文字 L を用いてもよい (イタリック体 *l* としない)。単位の名称は, 人名に由来する場合でも (セルシウス度の Celsius を除き) 小文字で始める。

b) セルシウス温度 θ は $\theta/^{\circ}\text{C} = T/\text{K} - 273.15$ と定義される。

c) 人の健康保護に関連して, 1970 年代の後半以降に導入された組立単位である。

4. SI 以外の単位

4.1 SI と併用できる単位

| 物 理 量 | 単 位 の 名 称 | 記 号 | SI 単位による表現 |
|-------|---|------|-------------------------------------|
| 時 間 | 分 minute | min | 60 s |
| 時 間 | 時 hour | h | 3600 s |
| 時 間 | 日 day | d | 86 400 s |
| 平 面 角 | 度 degree | ° | ($\pi/180$) rad |
| 体 積 | リットル litre | l, L | 10 ⁻³ m ³ |
| 質 量 | トン tonne | t | 10 ³ kg |
| 長 さ | オングストローム ^{a)} ångström | Å | 10 ⁻¹⁰ m |
| 圧 力 | バー ^{a)} bar | bar | 10 ⁵ Pa |
| 面 積 | バーン ^{a)} barn | b | 10 ⁻²⁸ m ² |
| エネルギー | 電子ボルト ^{b)} electronvolt | eV | 1.602 176 634 × 10 ⁻¹⁹ J |
| 質 量 | ダルトン ^{c)} dalton | Da | ≈ 1.660 539 × 10 ⁻²⁷ kg |
| | 統一原子質量単位 ^{a)} unified atomic mass unit | u | 1 u = 1 Da |

a) これらの単位は 2019 年版の SI 文書の「SI と併用できる単位」の表から除かれている。

b) 定義された値である。

c) 2006 年から正式に承認されている。統一原子質量単位 (u) と同一の単位である。現時点で最も正確と信じられている物理定数を用いて求めた大きさは $1.660\,539\,068\,92(52) \times 10^{-27}$ kg である。

4.2 そのほかの単位

以下にあげる単位は、従来の文献でよく使われたものである。この表は、それらの単位の身元を明らかにし、SI単位への換算を示すためのものである。

| 物 理 量 | 単 位 の 名 称 | 記 号 | SI 単位による表現 | |
|---------------------|---------------|---------------------------|-------------------|--|
| 力 | ダ イン | dyne | dyn | 10^{-5} N |
| 圧 力 ^{a)} | 標準大気圧 (気圧) | standard atmosphere | atm | 101 325 Pa |
| 圧 力 | トル (mmHg) | torr (mmHg) | Torr | ≈ 133.322 Pa |
| エネルギー | エ ル グ | erg | erg | 10^{-7} J |
| エネルギー ^{a)} | 熱化学カロリー | thermochemical calorie | cal _{th} | 4.184 J |
| 磁束密度 | ガ ウ ス | gauss | G | 10^{-4} T |
| 電気双極子 モーメント | デ バ イ | debye | D | $\approx 3.335\ 641 \times 10^{-30}$ C m |
| 粘 性 率 | ポ ア ズ | poise | P | 10^{-1} Pa s |
| 動粘性率 | ストークス | stokes | St | 10^{-4} m ² s ⁻¹ |
| 放射能 ^{a)} | キュリー | curie | Ci | 3.7×10^{10} Bq |
| 照射線量 ^{a)} | レントゲン | röntgen | R | 2.58×10^{-4} C kg ⁻¹ |
| 吸収線量 | ラ ド | rad | rad | 10^{-2} Gy |
| 線量当量 | レ ム | rem | rem | 10^{-2} Sv |

a) 定義された値である。

5. 基礎物理定数の値 (参考文献 2) カッコの中の数値は最後の桁につく標準不確かさを示す。

| 物 理 量 | 記 号 | 数 値 | 単 位 |
|---|--|--|---|
| 真空の透磁率 | μ_0 | $1.256\ 637\ 061\ 27(20) \times 10^{-6}$ | N A ⁻² |
| 真空中の光速 ^{a)} | c, c_0 | 299 792 458 | m s ⁻¹ |
| 真空の誘電率 | $\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$ | $8.854\ 187\ 8188(14) \times 10^{-12}$ | F m ⁻¹ |
| 電気素量 ^{a)} | e | $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}$ | C |
| プランク定数 ^{a)} | h | $6.626\ 070\ 15 \times 10^{-34}$ | J s |
| アボガドロ定数 ^{a)} | N_A, L | $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ | mol ⁻¹ |
| 電子の質量 | m_e | $9.109\ 383\ 7139(28) \times 10^{-31}$ | kg |
| 陽子の質量 | m_p | $1.672\ 621\ 925\ 95(52) \times 10^{-27}$ | kg |
| 中性子の質量 | m_n | $1.674\ 927\ 500\ 56(85) \times 10^{-27}$ | kg |
| 原子質量定数 (統一原子質量単位) | $m_u = 1$ u | $1.660\ 539\ 068\ 92(52) \times 10^{-27}$ | kg |
| ファラデー定数 ^{b)} | $F = N_A e$ | 96 485.332 12... | C mol ⁻¹ |
| ハートリーエネルギー | E_h | $4.359\ 744\ 722\ 2060(48) \times 10^{-18}$ | J |
| ボーア半径 | a_0 | $5.291\ 772\ 105\ 44(82) \times 10^{-11}$ | m |
| ボーア磁子 | μ_B | $9.274\ 010\ 0657(29) \times 10^{-24}$ | J T ⁻¹ |
| 核磁子 | μ_N | $5.050\ 783\ 7393(16) \times 10^{-27}$ | J T ⁻¹ |
| リュードベリ定数 | R_∞ | 10 973 731.568 157(12) | m ⁻¹ |
| モル気体定数 ^{b)} | $R = N_A k$ | 8.314 462 618... | J K ⁻¹ mol ⁻¹ |
| ボルツマン定数 ^{a)} | k, k_B | $1.380\ 649 \times 10^{-23}$ | J K ⁻¹ |
| ニュートン重力定数 | G | $6.674\ 30(15) \times 10^{-11}$ | m ³ kg ⁻¹ s ⁻² |
| 標準重力加速度 ^{a)} | g_n | 9.806 65 | m s ⁻² |
| 理想気体 (273.15 K, 100 kPa) のモル体積 ^{b)} | V_m | 22.710 954 64... | dm ³ mol ⁻¹ |
| 標準大気圧 ^{a)} | atm | 101 325 | Pa |
| 微細構造定数 | $\alpha = \mu_0 e^2 c / 2h$ α^{-1} | $7.297\ 352\ 5643(11) \times 10^{-3}$ 137.035 999 177(21) | |
| 電子の磁気モーメント | μ_e | $-9.284\ 764\ 6917(29) \times 10^{-24}$ | J T ⁻¹ |
| 電子の g 因子 | $g_e = 2\mu_e / \mu_B$ | -2.002 319 304 360 92(36) | |
| 陽子の磁気モーメント | μ_p | $1.410\ 606\ 795\ 45(60) \times 10^{-26}$ | J T ⁻¹ |

a) 定義された量である。

b) 定義された量の積・商として計算される。

6. 参考文献

- (a) 国際度量衡総会 (General Conference on Weights and Measures (CGPM)) の議事録「Resolutions of the General Conference on Weights and Measures」
<https://www.bipm.org/en/committees/cg/cgpm/>
 (b) SI 文書 (SI brochure)
<https://www.bipm.org/en/publications/si-brochure/>
 (日本語版) <https://unit.aist.go.jp/nmij/public/report/si-brochure/>
- CODATA 2022 推奨値. <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html> を参照. なお, 2019 年に実施された「基礎物理定数の再定義」については, 藤井賢一, 日本物理学会誌, 69(9), 604 (2014) および山田久美, 化学と工業, 66(2), 103 (2013) の解説を参照.
- (a) Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry, IUPAC, Physical Chemistry Division, 3rd Edition, RSC Publishing (2007).
<https://iupac.org/what-we-do/books/greenbook/>
 (b) 物理化学で用いられる量・単位・記号, 第3版, 日本化学会監修, 産業技術総合研究所計量標準総合センター訳, 講談社 (2009).
<https://unit.aist.go.jp/nmij/public/report/others/>

圧力に関する単位換算表^{a)} (参考文献 3)

| | Pa | kPa | bar | atm | mbar | Torr | psi |
|--------|-------------------|----------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| 1 Pa | = 1 | 10^{-3} | 10^{-5} | $\approx 9.869\ 23 \times 10^{-6}$ | 10^{-2} | $\approx 7.500\ 62 \times 10^{-3}$ | $\approx 1.450\ 38 \times 10^{-4}$ |
| 1 kPa | = 10^3 | 1 | 10^{-2} | $\approx 9.869\ 23 \times 10^{-3}$ | 10 | $\approx 7.500\ 62$ | $\approx 0.145\ 038$ |
| 1 bar | = 10^5 | 10^2 | 1 | $\approx 0.986\ 923$ | 10^3 | ≈ 750.062 | ≈ 14.5038 |
| 1 atm | = 101 325 | 101.325 | 1.013 25 | 1 | 1013.25 | 760 | ≈ 14.6959 |
| 1 mbar | = 10^2 | 10^{-1} | 10^{-3} | $\approx 9.869\ 23 \times 10^{-4}$ | 1 | $\approx 0.750\ 062$ | $\approx 1.450\ 38 \times 10^{-2}$ |
| 1 Torr | ≈ 133.322 | $\approx 0.133\ 322$ | $\approx 1.333\ 22 \times 10^{-3}$ | $\approx 1.315\ 79 \times 10^{-3}$ | $\approx 1.333\ 22$ | 1 | $\approx 1.933\ 68 \times 10^{-2}$ |
| 1 psi | ≈ 6894.76 | $\approx 6.894\ 76$ | $\approx 6.894\ 76 \times 10^{-2}$ | $\approx 6.804\ 60 \times 10^{-2}$ | ≈ 68.9476 | $\approx 51.714\ 94$ | 1 |

a) 換算表の使用例: 1 bar \approx 0.986 923 atm, 1 Torr \approx 133.322 Pa, 1 mmHg = 1 Torr (2×10^{-7} Torr 以内の差で成立する)

エネルギーに関する単位の相互換算表^{a)}

$$E = h\nu = hc\tilde{\nu} = kT; E_m = N_A E$$

| | 波数 $\tilde{\nu}$ | 振動数 ν | エネルギー E | | | モルエネルギー E_m | | 温度 T |
|-----------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | cm^{-1} | MHz | aJ | eV | E_h | kJ mol^{-1} | kcal mol^{-1} | K |
| $\tilde{\nu} : 1 \text{ cm}^{-1}$ | $\hat{=}$ 1 | $2.997\ 925 \times 10^4$ | $1.986\ 446 \times 10^{-5}$ | $1.239\ 842 \times 10^{-4}$ | $4.556\ 335 \times 10^{-6}$ | $11.962\ 66 \times 10^{-3}$ | $2.859\ 144 \times 10^{-3}$ | 1.438 777 |
| $\nu : 1 \text{ MHz}$ | $\hat{=}$ $3.335\ 641 \times 10^{-5}$ | 1 | $6.626\ 070 \times 10^{-10}$ | $4.135\ 668 \times 10^{-9}$ | $1.519\ 830 \times 10^{-10}$ | $3.990\ 313 \times 10^{-7}$ | $9.537\ 076 \times 10^{-8}$ | $4.799\ 243 \times 10^{-5}$ |
| 1 aJ | $\hat{=}$ 50 341.17 | $1.509\ 190 \times 10^9$ | 1 | 6.241 509 | 0.229 3712 | 602.2141 | 143.9326 | $7.242\ 971 \times 10^4$ |
| $E : 1 \text{ eV}$ | $\hat{=}$ 8065.544 | $2.417\ 989 \times 10^8$ | 0.160 2177 | 1 | $3.674\ 932 \times 10^{-2}$ | 96.485 33 | 23.060 55 | $1.160\ 452 \times 10^4$ |
| $1 E_h$ | $\hat{=}$ 219 474.6 | $6.579\ 684 \times 10^9$ | 4.359 744 | 27.211 39 | 1 | 2625.500 | 627.5095 | $3.157\ 750 \times 10^5$ |
| $E_m : 1 \text{ kJ mol}^{-1}$ | $\hat{=}$ 83.593 47 | $2.506\ 069 \times 10^6$ | $1.660\ 539 \times 10^{-3}$ | $1.036\ 427 \times 10^{-2}$ | $3.808\ 799 \times 10^{-4}$ | 1 | 0.239 005 7 | 120.2724 |
| 1 kcal mol^{-1} | $\hat{=}$ 349.7551 | $1.048\ 539 \times 10^7$ | $6.947\ 695 \times 10^{-3}$ | $4.336\ 410 \times 10^{-2}$ | $1.593\ 601 \times 10^{-3}$ | 4.184 | 1 | 503.2195 |
| $T : 1 \text{ K}$ | $\hat{=}$ 0.695 0348 | $2.083\ 662 \times 10^4$ | $1.380\ 649 \times 10^{-5}$ | $8.617\ 333 \times 10^{-5}$ | $3.166\ 812 \times 10^{-6}$ | $8.314\ 463 \times 10^{-3}$ | $1.987\ 204 \times 10^{-3}$ | 1 |

a) 換算表の使用例: 1 aJ = 1×10^{-18} J $\hat{=}$ 50 341.17 cm^{-1} , 1 eV $\hat{=}$ 96.485 33 kJ mol^{-1} 。 $\hat{=}$ は“に対応する”あるいは“とほぼ等価である”(1を除く)という意味を表す。