

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

この資料は“物理化学で用いられる量・単位・記号”要約版(参考文献1)に基づいて、一部を最新の資料により補足修正したものである。本資料に収録された内容は、国際純正・応用化学連合 IUPAC の資料(参考文献2)を基礎として、その資料の中で最もよく用いられる単位と基礎物理定数に関する情報を抜粋している。単位と基礎物理定数に関する最新情報と、物理量の用語および訳語と記号の使い方については、末尾の参考文献を参照されたい。

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、「本冊子の横幅の長さ 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5に記載されている。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。metre は meter と表記されることが多い。

| 物 理 量 | 量の記号 | SI 単 位 の 名 称 | 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、ラテン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、「0.012 kg の炭素 12 の中に存在する原子の数に等しい数の要素粒子 (elementary entity) を含む系の物質質量」である。この単位で表される「物質質量」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 |

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。ただし体積の単位リットル l 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 と併用される単位

| 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, liter | l, L | 10 ⁻³ m ³ |
| 質 量 | トン tonne, ton | t | 10 ³ kg |
| 長 さ | オングストローム ångström | Å | 10 ⁻¹⁰ m |
| 圧 力 | バール bar | bar | 10 ⁵ Pa |
| 面 積 | バーン barn | b | 10 ⁻²⁸ m ² |
| エネルギー | 電子ボルト ^{a,b)} electronvolt | eV | 1.602 18 × 10 ⁻¹⁹ J |
| 質 量 | ダルトン ^{a,c)} dalton | Da | 1.660 54 × 10 ⁻²⁷ kg |
| | 統一原子質量単位 unified atomic mass unit | u | 1 u = 1 Da |

a) 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値。正確な数値は, eV では 1.602 176 487 (40), Da では 1.660 538 782 (83) である。

b) 電子ボルトの大きさは, 真空中で 1 V の電位差の空間を通過することにより電子が得る運動エネルギーである。電子ボルトは, meV, keV のように, しばしば SI 接頭語をつけて使われる。

c) Da は 2006 年から正式に承認されている。今まで使われていた u と同一の単位であり, 「静止して基底状態にある自由な炭素原子 ¹²C の質量の 1/12 に等しい質量」の記号である。高分子の質量を表すときには kDa, MDa など, 原子あるいは分子の微小な質量差を表すときには nDa, pDa などのように, SI 接頭語と組み合わせた単位を使うことができる。

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 | force ダ イ ン | dyne dyn | 10^{-5} N |
| 圧 力 ^{a)} | pressure 標 準 大 気 圧 (気圧) | standard atmosphere atm | 101 325 Pa |
| 圧 力 | pressure トル (mmHg) | torr (mmHg) Torr | ≈ 133.322 Pa |
| エネルギー | energy エ ル グ | erg erg | 10^{-7} J |
| エネルギー ^{a)} | energy 熱化学カロリー | thermochemical calorie cal _{th} | 4.184 J |
| 磁束密度 | magnetic flux density ガ ウ ス | gauss G | 10^{-4} T |
| 電気双極子 モーメント | electric dipole moment デ バ イ | debye D | $\approx 3.335\ 641 \times 10^{-30}$ C m |
| 粘 性 率 | viscosity ポ ア ズ | poise P | 10^{-1} Pa s |
| 動 粘 性 率 | kinematic viscosity ス ト ー ク ス | stokes St | 10^{-4} m ² s ⁻¹ |
| 放 射 能 ^{a)} | radioactivity キ ュ リ ー | curie Ci | 3.7×10^{10} Bq |
| 照 射 線 量 ^{a)} | exposure レ ン ト ゲ ン | röntgen R | 2.58×10^{-4} C kg ⁻¹ |
| 吸 収 線 量 | absorbed dose ラ ド | rad rad | 10^{-2} Gy |
| 線 量 当 量 | dose equivalent 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 7) 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 ^{a,b)} | permeability of vacuum μ_0 | $4\pi \times 10^{-7}$ | N A ⁻² |
| 真空中の光速 ^{a)} | speed of light in vacuum c, c_0 | 299 792 458 | m s ⁻¹ |
| 真空の誘電率 ^{a,c)} | permittivity of vacuum $\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$ | $8.854\ 187\ 817 \dots \times 10^{-12}$ | F m ⁻¹ |
| 電 気 素 量 | elementary charge e | $1.602\ 176\ 487(40) \times 10^{-19}$ | C |
| プランク定数 | Planck constant h | $6.626\ 068\ 96(33) \times 10^{-34}$ | J s |
| アボガドロ定数 | Avogadro constant N_A, L | $6.022\ 141\ 79(30) \times 10^{23}$ | mol ⁻¹ |
| 電子の質量 | electron mass m_e | $9.109\ 382\ 15(45) \times 10^{-31}$ | kg |
| 陽子の質量 | proton mass m_p | $1.672\ 621\ 637(83) \times 10^{-27}$ | kg |
| 中性子の質量 | neutron mass m_n | $1.674\ 927\ 211(84) \times 10^{-27}$ | kg |
| 原子質量定数 (統一原子質量単位) | atomic mass constant (unified atomic mass unit) $m_u = 1$ u | $1.660\ 538\ 782(83) \times 10^{-27}$ | kg |
| ファラデー定数 | Faraday constant F | $9.648\ 533\ 99(24) \times 10^4$ | C mol ⁻¹ |
| ハートリーエネルギー | Hartree energy E_h | $4.359\ 743\ 94(22) \times 10^{-18}$ | J |
| ボ ー ア 半 径 | Bohr radius a_0 | $5.291\ 772\ 085\ 9(36) \times 10^{-11}$ | m |
| ボ ー ア 磁 子 | Bohr magneton μ_B | $9.274\ 009\ 15(23) \times 10^{-24}$ | J T ⁻¹ |
| 核 磁 子 | nuclear magneton μ_N | $5.050\ 783\ 24(13) \times 10^{-27}$ | J T ⁻¹ |
| リュードベリ定数 | Rydberg constant R_∞ | $1.097\ 373\ 156\ 852\ 7(73) \times 10^7$ | m ⁻¹ |
| 気 体 定 数 | gas constant R | 8.314 472(15) | J K ⁻¹ mol ⁻¹ |
| ボルツマン定数 | Boltzmann constant k, k_B | $1.380\ 650\ 4(24) \times 10^{-23}$ | J K ⁻¹ |
| 万有引力定数(重力定数) | gravitational constant G | $6.674\ 28(67) \times 10^{-11}$ | m ³ kg ⁻¹ s ⁻² |
| 重力の標準加速度 ^{a)} | standard acceleration of gravity g_n | 9.806 65 | m s ⁻² |
| 水の三重点 ^{a)} | triple point of water $T_{tp}(\text{H}_2\text{O})$ | 273.16 | K |
| 理想気体 (1 bar, 273.15 K) のモル体積 | molar volume of ideal gas (at 1 bar and 273.15 K) V_0 | 22.710 981(40) | L mol ⁻¹ |
| 標 準 大 気 圧 ^{a)} | standard atmosphere atm | 101 325 | Pa |
| 微細構造定数 | fine structure constant $\alpha = \mu_0 e^2 c / 2h$ α^{-1} | $7.297\ 352\ 537\ 6(50) \times 10^{-3}$ 137.035 999 676(94) | |
| 電子の磁気モーメント | electron magnetic moment μ_e | $-9.284\ 763\ 77(23) \times 10^{-24}$ | J T ⁻¹ |
| 自由電子のランデ g 因子 | Landé g factor for free electron $g_e = 2\mu_e/\mu_B$ | -2.002 319 304 362 2(15) | |
| 陽子の磁気モーメント | proton magnetic moment μ_p | $1.410\ 606\ 662(37) \times 10^{-26}$ | J T ⁻¹ |

a) 定義された正確な値である。

b) 磁気定数 magnetic constant ともよばれる。

c) 電気定数 electric constant ともよばれる。

6. 参考文献

- 1) (a) A Concise Summary of Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry, IUPAC, Physical and Biophysical Chemistry Division, Commission on Physicochemical Symbols, Terminology and Units, J. Stohner, M. Quack, RSC Publishing (2009), (b) [物理化学で用いられる量・単位・記号 要約版], 日本化学会訳書作成委員会 (2010) J.
- 2) (a) Quantities, Units and Symbols in Physical Chemistry, IUPAC, Physical and Biophysical Chemistry Division, 3rd Edition, RSC Publishing (2007). (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)]. <http://www.chemistry.or.jp/activity/international/greenbook.html> (本書全文と正誤表) <http://www.nmij.jp/public/report/translation/IUPACからもアクセスできる>.
- 3) 化学で使う量の単位と記号, 日本化学会編, 朽津耕三著, 丸善 (2002).
- 4) 化学で使われる量の単位と用語, 第5版実験化学講座1, 基礎編I, 4.2, 日本化学会編, 丸善 (2003), p. 378.
- 5) 物理定数と諸単位, 化学便覧・基礎編I, 1, 日本化学会編, 丸善 (2004), p. 11.
- 6) Le Systeme International d'Unites (SI), Bureau International des Poids et Mesures, 8th French and English Edition, BIPM, Sèvres, 2006. http://www.bipm.org/utis/common/pdf/si_brochure_8_en.pdf 国際単位系 (SI) 日本語版, 訳・監修: (独)産業技術総合研究所・計量標準総合センター (2006). <http://www.nmij.jp/library/units/si/>
- 7) CODATA が推奨する基礎物理定数の速報値については P. J. Mohr, B. N. Taylor, D. B. Newell, Physics Today, 60, 52 (2007) を参照. 2006年の推奨値が決定された詳細については, P. J. Mohr, B. N. Taylor, D. B. Newell, Rev. Mod. Phys. 80, 633 (2008) を参照. 基礎物理定数については <http://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html> に記載されている. おもな基礎物理定数については, 藤井賢一, 大苗敦, 日本物理学会誌, 57, 239 (2002) と山田久美, 化学と工業, 66, 103 (2013) の解説を参照.

圧力単位の換算表^{a)} (参考文献2)

| | Pa | kPa | bar | atm | mbar | Torr | psi |
|--------|-------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| 1 Pa | = 1 | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁵ | 9.869 23 × 10 ⁻⁶ | 10 ⁻² | 7.500 62 × 10 ⁻³ | 1.450 38 × 10 ⁻⁴ |
| 1 kPa | = 10 ³ | 1 | 10 ⁻² | 9.869 23 × 10 ⁻³ | 10 | 7.500 62 | 0.145 038 |
| 1 bar | = 10 ⁵ | 10 ² | 1 | 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 | = 100 | 10 ⁻¹ | 10 ⁻³ | 9.869 23 × 10 ⁻⁴ | 1 | 0.750 062 | 1.450 38 × 10 ⁻² |
| 1 Torr | ≈ 133.322 | 0.133 322 | 1.333 22 × 10 ⁻³ | 1.315 79 × 10 ⁻³ | 1.333 22 | 1 | 1.933 68 × 10 ⁻² |
| 1 psi | ≈ 6894.76 | 6.894 76 | 6.894 76 × 10 ⁻² | 6.804 60 × 10 ⁻² | 68.9476 | 51.714 94 | 1 |

a) 換算表の使用例: 1 bar ≈ 0.986 923 atm, 1 Torr ≈ 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換算表^{a)} (参考文献2)

| $E = hv = hc\tilde{\nu} = kT$; $E_m = N_A E$ | 波数 $\tilde{\nu}$ | 振動数 ν | エネルギー | エネルギー | エネルギー | 温度 T |
|---|--------------------------------|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | cm ⁻¹ | MHz | eV | E_h | kJ/mol | K |
| $\tilde{\nu}$: 1 cm ⁻¹ | ≡ 1 | 2.997 925 × 10 ⁴ | 1.239 842 × 10 ⁻⁴ | 4.556 335 × 10 ⁻⁶ | 11.962 66 × 10 ⁻³ | 1.438 775 |
| ν : 1 MHz | ≡ 3.335 641 × 10 ⁻⁵ | 1 | 4.135 667 × 10 ⁻⁹ | 1.519 830 × 10 ⁻¹⁰ | 3.990 313 × 10 ⁻⁷ | 4.799 237 × 10 ⁻⁵ |
| 1 aJ | ≡ 50 341.17 | 1.509 190 × 10 ⁹ | 6.241 510 | 0.229 371 3 | 602.2142 | 7.242 963 × 10 ⁴ |
| E : 1 eV | ≡ 8065.545 | 2.417 989 × 10 ⁸ | 1 | 3.674 933 × 10 ⁻² | 96.485 34 | 1.160 451 × 10 ⁴ |
| 1 E_h | ≡ 219 474.63 | 6.579 684 × 10 ⁹ | 27.211 38 | 1 | 2625.500 | 3.157 747 × 10 ⁵ |
| E_m : 1 kJ/mol | ≡ 83.593 47 | 2.506 069 × 10 ⁶ | 1.036 427 × 10 ⁻² | 3.808 799 × 10 ⁻⁴ | 1 | 120.2722 |
| E_m : 1 kcal/mol | ≡ 349.7551 | 1.048 539 × 10 ⁷ | 4.336 410 × 10 ⁻² | 1.593 601 × 10 ⁻³ | 4.184 | 503.2189 |
| T : 1 K | ≡ 0.695 035 6 | 2.083 664 × 10 ⁴ | 8.617 343 × 10 ⁻⁵ | 3.166 815 × 10 ⁻⁶ | 8.314 472 × 10 ⁻³ | 1.987 207 × 10 ⁻³ |

a) 換算表の使用例: 1 aJ = 1 × 10⁻¹⁸ J ≡ 50 341 cm⁻¹, 1 eV ≡ 96.4853 kJ mol⁻¹. ≡ 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。