

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。この資料は第26回国際度量衡総会（2018年11月）の議事録（参考文献1）に基づいている。基礎物理定数の値や不確定さについては、Committee on Data for Science and Technology (CODATA) の推奨値を参考文献2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、「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3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、「 $6.022\ 140\ 76 \times 10^{23}$ 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 |

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 (kg 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 | $m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2\ (= \Omega^{-1})$ |
| 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 | $^{\circ}C$ | 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 θ は $\theta/^{\circ}C = T/K - 273.15$ 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 | $^{\circ}$ | $(\pi/180)$ 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 | \AA | $10^{-10}\ m$ |
| 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)} electronvolt | eV | $1.602\ 176\ 634 \times 10^{-19}\ J$ |
| 質 量 | ダルトン ^{b)} dalton | Da | $\approx 1.660\ 539 \times 10^{-27}\ kg$ |
| | 統一原子質量単位 unified atomic mass unit | u | 1 u = 1Da |

a) 定義された値である。

b) 2006 年から正式に承認されている。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 $1.660\ 539\ 066\ 60(50) \times 10^{-27}\ kg$ 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 | 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 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 ^{b)} | permeability of vacuum | μ_0 | $1.256 637 062 12(19) \times 10^{-6}$ 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 ^{c)} | permittivity of vacuum | $\epsilon_0 = 1/\mu_0 c^2$ | $8.854 187 8128(13) \times 10^{-12}$ F m ⁻¹ |
| 電気素量 ^{a)} | elementary charge | e | $1.602 176 634 \times 10^{-19}$ C |
| プランク定数 ^{a)} | Planck constant | h | $6.626 070 15 \times 10^{-34}$ J s |
| アボガドロ定数 ^{a)} | Avogadro constant | N_A, L | $6.022 140 76 \times 10^{23}$ mol ⁻¹ |
| 電子の質量 | electron mass | m_e | $9.109 383 7105(28) \times 10^{-31}$ kg |
| 陽子の質量 | proton mass | m_p | $1.672 621 923 69(51) \times 10^{-27}$ kg |
| 中性子の質量 | neutron mass | m_n | $1.674 927 498 04(95) \times 10^{-27}$ 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 | $1.660 539 066 60(50) \times 10^{-27}$ kg |
| ファラデー定数 | Faraday constant | $F = N_A e$ | 96 485.332 12... C mol ⁻¹ |
| ハートリーエネルギー | Hartree energy | E_h | $4.359 744 722 2071(85) \times 10^{-18}$ J |
| ボーア半径 | Bohr radius | a_0 | $5.291 772 109 03(80) \times 10^{-11}$ m |
| ボーア磁子 | Bohr magneton | μ_B | $9.274 010 0783(28) \times 10^{-24}$ J T ⁻¹ |
| 核磁子 | nuclear magneton | μ_N | $5.050 783 7461(15) \times 10^{-27}$ J T ⁻¹ |
| リュードベリ定数 | Rydberg constant | R_∞ | $10 973 731.568 160(21)$ m ⁻¹ |
| 気体定数 | gas constant | $R = N_A k$ | 8.314 462 618... J K ⁻¹ mol ⁻¹ |
| ボルツマン定数 ^{a)} | Boltzmann constant | k, k_B | $1.380 649 \times 10^{-23}$ J K ⁻¹ |
| 万有引力定数(重力定数) | gravitational constant | G | $6.674 30(15) \times 10^{-11}$ 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 |
| 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 | 22.710 954 64... 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} | $7.297 352 5693(11) \times 10^{-3}$ 137.035 999 084(21) |
| 電子の磁気モーメント | electron magnetic moment | μ_e | $-9.284 764 7043(28) \times 10^{-24}$ J T ⁻¹ |
| 自由電子のランダウ g 因子 | Landé g factor for free electron | $g_e = 2\mu_e/\mu_B$ | -2.002 319 304 362 56(35) |
| 陽子の磁気モーメント | proton magnetic moment | μ_p | $1.410 606 797 36(60) \times 10^{-26}$ J T ⁻¹ |

a) 定義された量である。

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) 第26回国際度量衡総会 (2018年11月) (The 26th General Conference on Weights and Measures (CGPM), Versailles: Bureau International des Poids et Mesures, 13 November 2018) の議事録「Convocation of the General Conference on Weights and Measures (26th meeting)」
<https://www.bipm.org/utls/en/pdf/CGPM/Convocation-2018.pdf>
 (b) The CODATA 2017 special adjustment, CODATA (2018).
<https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1681-7575/aa950a>
- 2) CODATA が推奨する基礎物理定数は <https://physics.nist.gov/cuu/Constants/index.html> に記載されている https://physics.nist.gov/cuu/pdf/wall_2018.pdf を参照 (CODATA RECOMMENDED VALUES OF THE FUNDAMENTAL PHYSICAL CONSTANTS: 2018, NIST SP 961 (May 2019)). 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.
- 3) (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記, 講談社 (2009)].

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} | $\approx 9.86923 \times 10^{-6}$ | 10^{-2} | $\approx 7.50062 \times 10^{-3}$ | $\approx 1.45038 \times 10^{-4}$ |
| 1 kPa | $= 10^3$ | 1 | 10^{-2} | $\approx 9.86923 \times 10^{-3}$ | 10 | ≈ 7.50062 | ≈ 0.145038 |
| 1 bar | $= 10^5$ | 10^2 | 1 | ≈ 0.986923 | 10^3 | ≈ 750.062 | ≈ 14.5038 |
| 1 atm | $= 101325$ | 101.325 | 1.01325 | 1 | 1013.25 | 760 | ≈ 14.6959 |
| 1 mbar | $= 100$ | 10^{-1} | 10^{-3} | $\approx 9.86923 \times 10^{-4}$ | 1 | ≈ 0.750062 | $\approx 1.45038 \times 10^{-2}$ |
| 1 Torr | ≈ 133.322 | ≈ 0.133322 | $\approx 1.33322 \times 10^{-3}$ | $\approx 1.31579 \times 10^{-3}$ | ≈ 1.33322 | 1 | $\approx 1.93368 \times 10^{-2}$ |
| 1 psi | ≈ 6894.76 | ≈ 6.89476 | $\approx 6.89476 \times 10^{-2}$ | $\approx 6.80460 \times 10^{-2}$ | ≈ 68.9476 | ≈ 51.71494 | 1 |

a) 換算表の使用例: 1 bar ≈ 0.986923 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相互換算表^{a)}

| | 波数 $\tilde{\nu}$ cm^{-1} | 振動数 ν MHz | エネルギー aJ | エネルギー eV | エネルギー kJ/mol ⁻¹ | エネルギー kcal/mol ⁻¹ | 温度 T K |
|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| $\tilde{\nu}$: 1 cm^{-1} | $\hat{=}$ 1 | 2.997925×10^4 | 1.986446×10^{-5} | 1.239842×10^{-4} | 4.556335×10^{-6} | 2.859144×10^{-3} | 1.438777 |
| ν : 1 MHz | $\hat{=}$ 3.335641×10^{-5} | 1 | 6.626070×10^{-10} | 4.135668×10^{-9} | 1.519830×10^{-10} | 3.990313×10^{-7} | 4.799243×10^{-5} |
| 1 aJ | $\hat{=}$ 50341.17 | 1.509190×10^9 | 1 | 6.241509 | 0.2293712 | 602.2141 | 7.242971×10^4 |
| E : 1 eV | $\hat{=}$ 8065.544 | 2.417989×10^8 | 0.1602177 | 1 | 3.674932×10^{-2} | 96.48533 | 1.160452×10^4 |
| 1 E_h | $\hat{=}$ 219474.63 | 6.579684×10^9 | 4.359744 | 27.21139 | 1 | 2625.500 | 3.157750×10^5 |
| 1 kJ/mol ⁻¹ | $\hat{=}$ 83.59347 | 2.506069×10^6 | 1.660539×10^{-3} | 1.036427×10^{-2} | 3.808799 $\times 10^{-4}$ | 1 | 120.2724 |
| E_m : 1 kcal/mol ⁻¹ | $\hat{=}$ 349.7551 | 1.048539×10^7 | 6.947695×10^{-3} | 4.336410×10^{-2} | 1.593601×10^{-3} | 4.184 | 503.2195 |
| T: 1 K | $\hat{=}$ 0.6950348 | 2.083662×10^4 | 1.380649×10^{-5} | 8.617333×10^{-5} | 3.166812×10^{-6} | 8.314463×10^{-3} | 1 |

a) 換算表の使用例: 1 aJ = 1×10^{-18} J $\hat{=}$ 50341.17 cm^{-1} , 1 eV $\hat{=}$ 96.48533 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。