

目 次

1. 化学の基本事項

1.1 単位および数値の取扱い	1		
1.1.1 国際単位系 (SI)	1	1.1.4 本試験で出題される非 SI 単位	5
1.1.2 SI 基本単位の定義	3	1.1.5 有効数字と不確かさ	5
1.1.3 SI 単位の表記法	4	1.1.6 基本問題	7
1.2 物 質 量	7		
1.2.1 原子量, 分子量, 物質量, および アボガドロ定数	7	1.2.2 同位体など	8
		1.2.3 基本問題	10
1.3 濃度の表し方	12		
1.3.1 濃度の単位	12	1.3.3 発展問題	16
1.3.2 基本問題	15		
1.4 化 学 反 応	23		
1.4.1 化学反応式	23	1.4.3 基本問題	25
1.4.2 化学方程式	24		
1.5 標準物質, その他	28		
1.5.1 容量分析用標準物質	28	1.5.3 基本問題	30
1.5.2 気体用のポンベ	29		

2. 物 理 化 学

2.1 化学熱力学	31		
2.1.1 気体の性質	31	2.1.3 基本問題	36
2.1.2 気体分子運動論	33	2.1.4 発展問題	38
2.2 熱力学第1法則	47		
2.2.1 熱力学第1法則, 熱容量	47	2.2.4 基本問題	51
2.2.2 理想気体の場合	49	2.2.5 発展問題	51
2.2.3 反 応 熱	50		

2.3 熱力学第2法則	55		
2.3.1 熱力学第2法則	55	2.3.3 基本問題	57
2.3.2 カルノーの原理	56		
2.4 熱力学第3法則	60		
2.4.1 熱力学第3法則	60	2.4.3 クラウジウス-クラペイロンの式	63
2.4.2 ギブスの自由エネルギー	61	2.4.4 基本問題	63
2.5 平 衡	66		
2.5.1 単一成分系の相平衡	66	2.5.6 水蒸気蒸留	73
2.5.2 束一的性質	67	2.5.7 化学量論式	74
2.5.3 ギブスの相律, 相図 (状態図)	68	2.5.8 化学平衡	74
		2.5.9 標準生成ギブスエネルギー	76
2.5.4 分別蒸留	72	2.5.10 基本問題	77
2.5.5 共沸混合物	73	2.5.11 発展問題	81
2.6 電 気 化 学	95		
2.6.1 イオン平衡	95	2.6.4 基本問題	100
2.6.2 半電池	97	2.6.5 発展問題	101
2.6.3 酸化還元電位	99		
2.7 反 応 速 度 論	104		
2.7.1 反応速度と触媒	104	2.7.5 活性化エネルギー	107
2.7.2 単純反応の速度式	105	2.7.6 基本問題	108
2.7.3 複合反応の速度式	106	2.7.7 発展問題	110
2.7.4 定常状態近似法	107		
2.8 放 射 性 崩 壊	117		
2.8.1 放射線および原子核の壊変	117	2.8.3 壊変の法則	119
2.8.2 ウラン原子の核分裂	118	2.8.4 基本問題	119
2.9 界 面 化 学	122		
2.9.1 界面の種類	122	2.9.5 界面活性剤の作用	124
2.9.2 表面張力	122	2.9.6 吸 着	125
2.9.3 界面活性剤	122	2.9.7 発展問題	127
2.9.4 界面活性剤の性質	123		
2.10 分 散 系	129		
2.10.1 分散系の分類	129	2.10.3 基本問題	134
2.10.2 コロイド溶液	129		

2.11 分配係数 135

- | | | | |
|-----------------------|-----|--------------------------------|-----|
| 2.11.1 はじめに…………… | 135 | 2.11.3 分配係数に影響を与える
諸因子…………… | 137 |
| 2.11.2 弱電解質の分配係数…………… | 136 | 2.11.4 基本問題…………… | 137 |

3. 分析化学**3.1 平衡とイオン分析 139**

- | | | | |
|--------------------|-----|-------------------|-----|
| 3.1.1 酸と塩基の定義…………… | 139 | 3.1.6 緩衝能…………… | 145 |
| 3.1.2 塩の分類…………… | 141 | 3.1.7 pHの計算式…………… | 146 |
| 3.1.3 酸塩基平衡…………… | 142 | 3.1.8 基本問題…………… | 147 |
| 3.1.4 塩の加水分解…………… | 143 | 3.1.9 発展問題…………… | 149 |
| 3.1.5 緩衝液…………… | 144 | | |

3.2 溶解度積 157

- | | | | |
|--------------------|-----|-----------------|-----|
| 3.2.1 溶解度積と溶解度の関係… | 157 | 3.2.3 pH効果…………… | 159 |
| 3.2.2 共通イオン効果…………… | 158 | 3.2.4 基本問題…………… | 160 |

3.3 酸化還元 162

- | | | | |
|-----------------------------|-----|--------------------|-----|
| 3.3.1 ネルンストの式…………… | 162 | 3.3.3 代表的な酸化還元反応式… | 165 |
| 3.3.2 酸化還元反応式の
作成方法…………… | 164 | 3.3.4 基本問題…………… | 166 |

3.4 滴定 167

- | | | | |
|-------------------|-----|-------------------|-----|
| 3.4.1 酸塩基滴定…………… | 168 | 3.4.5 酸化還元滴定…………… | 175 |
| 3.4.2 滴定曲線…………… | 169 | 3.4.6 基本問題…………… | 179 |
| 3.4.3 沈殿滴定…………… | 170 | 3.4.7 発展問題…………… | 180 |
| 3.4.4 キレート滴定…………… | 171 | | |

3.5 機器分析 187

- | | | | |
|--------------------|-----|-----------------|-----|
| 3.5.1 分光学的手法…………… | 187 | 3.5.4 分析方法…………… | 191 |
| 3.5.2 ランベルト-ベールの法則 | 189 | 3.5.5 基本問題…………… | 203 |
| 3.5.3 紫外可視吸収…………… | 190 | 3.5.6 発展問題…………… | 206 |

4. 無機化学

4.1 結晶構造	216		
4.1.1 格子面	216	4.1.7 共有結合結晶の構造	221
4.1.2 結晶	217	4.1.8 液晶	222
4.1.3 イオン結晶の構造	218	4.1.9 ガラス転移	223
4.1.4 格子エネルギー	218	4.1.10 基本問題	224
4.1.5 マーデルング定数	219	4.1.11 発展問題	225
4.1.6 金属結晶の構造	220		
4.2 錯体化学	233		
4.2.1 錯体	233	4.2.3 基本問題	237
4.2.2 錯体の異性体	236	4.2.4 発展問題	237
4.3 原子・分子の構造	240		
4.3.1 周期律	240	4.3.5 光電効果	242
4.3.2 周期表と電気陰性度	240	4.3.6 波動性と粒子性	242
4.3.3 電子親和力	241	4.3.7 量子論的粒子	243
4.3.4 イオン化エネルギー (イオン化ポテンシャル)	242	4.3.8 基本問題	246
		4.3.9 発展問題	248

5. 有機化学

5.1 有機化合物の構造	254		
5.1.1 原子軌道	254	5.1.4 双極子モーメント	257
5.1.2 分子軌道	255	5.1.5 芳香族性	257
5.1.3 電気陰性度	256	5.1.6 基本問題	258
5.2 有機化合物の性質	261		
5.2.1 酸と塩基	261	5.2.5 共鳴効果 (R 効果または M 効果)	264
5.2.2 ハロゲンの酸素酸	262	5.2.6 塩基性度	265
5.2.3 誘起効果 (I 効果)	263	5.2.7 分子間力	266
5.2.4 酸性度	264	5.2.8 基本問題	267
5.3 異性体	281		
5.3.1 異性体の分類	281	5.3.2 立体異性体	282

5.3.3	光学異性体	283	5.3.6	配座異性体	286
5.3.4	幾何異性体	283	5.3.7	互変異性	287
5.3.5	立体配置	284	5.3.8	基本問題	288
5.4	有機反応	294			
5.4.1	求核置換反応	294	5.4.8	脱離反応	303
5.4.2	芳香族求電子置換反応	296	5.4.9	酸化還元反応	306
5.4.3	芳香族求核置換反応	297	5.4.10	縮合反応	307
5.4.4	アシル化合物の反応性	297	5.4.11	加水分解	307
5.4.5	芳香族吸電子置換反応(フリー デル-クラフツ反応)	298	5.4.12	転移反応	307
5.4.6	付加反応	298	5.4.13	ラジカル反応	311
5.4.7	求核付加反応	301	5.4.14	基本問題	312
			5.4.15	発展問題	317
5.5	官能基の反応性	329			
5.5.1	アルカンおよびハロゲン化 アルキル (R-X)	329	5.5.9	エーテル (R-O-R')	353
5.5.2	アルケン (オレフィン) およびアルキン	332	5.5.10	ニトロ基 (-NO ₂)	354
5.5.3	芳香族炭化水素(アレーン)	336	5.5.11	アミノ基 (-NH ₂)	355
5.5.4	ハロゲン化アリール (Ar-X)	338	5.5.12	アミド(R-CONH-R')	359
5.5.5	水酸基 (-OH)	339	5.5.13	スルホン酸 (R-SO ₃ H), メルカ プト基 (-SH), スルホンアミド (R-SO ₂ NH-R')	360
5.5.6	カルボニル基 (R-CO-R')	342	5.5.14	シアノ基 (-C≡N), グアニジノ 基 (-NH-C(NH ₂)=NH), イソシ アナト基 (R-N=C=O)	361
5.5.7	カルボキシル基 (R-COOH)	348	5.5.15	基本問題	363
5.5.8	エステル (R-COO-R')	351	5.5.16	発展問題	364
5.6	高分子化学	368			
5.6.1	高分子反応	368	5.6.5	天然高分子	378
5.6.2	合成樹脂	369	5.6.6	基本問題	381
5.6.3	合成ゴム	374	5.6.7	発展問題	383
5.6.4	化学繊維	376			

付録	年度別の体系分類および出題傾向	390
-----------	------------------------	------------

1 化学の基本事項

1.1 単位および数値の取扱い

1.1.1 国際単位系 (SI)

SIとは国際単位系 (Le Système International d'Unités) の略称である。SI単位系はメートル条約に基づき1960年に国際度量衡総会 (CGPM) で使用が採択された。日本では1991年に日本工業規格 (JIS) が完全に国際単位系準拠となり、JIS Z 8203 (国際単位系 (SI) 及びその使い方) に規定されている。

表1.1に示すように、SIでは基本物理量、基本単位として7種類を定めている。このほかの単位は原理的に基本単位から代数的な演算を行うことで導くことができ、これを組立単位という。表1.2に示すように、SI位取りのため

表 1.1 SI 基本単位の名称と記号

物理量	SI 単位の名称	SI 単位の記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質	モル	mol
光度	カンデラ	cd

表 1.2 10 の整数乗を表す接頭語の名称と係数

接頭語の名称 (記号)	係数	接頭語の名称 (記号)	係数
ヨタ (Y)	10^{24}	デシ (d)	10^{-1}
ゼタ (Z)	10^{21}	センチ (c)	10^{-2}
エクサ (E)	10^{18}	ミリ (m)	10^{-3}
ペタ (P)	10^{15}	マイクロ (μ)	10^{-6}
テラ (T)	10^{12}	ナノ (n)	10^{-9}
ギガ (G)	10^9	ピコ (p)	10^{-12}
メガ (M)	10^6	フェムト (f)	10^{-15}
キロ (k)	10^3	アト (a)	10^{-18}
ヘクト (h)	10^2	ゼプト (z)	10^{-21}
デカ (da)	10^1	ヨクト (y)	10^{-24}

2 1. 化学の基本事項

10の整数乗倍について20種類の接頭語を定め、これらの組合せですべての物理量を表現する。表1.3に示すように、SI組立単位のうちで固有の名称とその独自の記号をもつ単位は22種類ある。現在のSIの特徴を以下にまとめた。

- ① 各分野の基礎となる合理的で信頼度の高い実現性（再現性）をもつSI基本単位が選択されている。
- ② 組立量の単位（組立単位）が基本単位の乗除だけで組み立てられる一貫性のある単位系で、各量の単位相互の換算関係に係数が入らない。ただし、セルシウス温度の単位セルシウス度〔℃〕は組立単位に位置付けられ、熱力学温度 T のケルビン〔K〕による値とセルシウス温度 t のセルシウス度〔℃〕による値は一定数 273.15 の差をもつように定義されている ($t/℃ = T/K - 273.15$)。また温度差を表すときの単位は、K と℃ はまっ

表1.3 固有の名称とその独自の記号によるSI組立単位（22種類）

量	名称および〔記号〕	SI 単位による表記	SI 基本単位による表記
平面角	ラジアン〔rad〕		$m\ m^{-1} = 1$
立体角	ステラジアン〔sr〕		$m^2\ m^{-2} = 1$
周波数	ヘルツ〔Hz〕		s^{-1}
力	ニュートン〔N〕		$m\ kg\ s^{-2}$
圧力、応力	パスカル〔Pa〕	N/m^2	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	ジュール〔J〕	Nm	$m^2\ kg\ s^{-2}$
工率、放射束	ワット〔W〕	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電気量、電荷	クーロン〔C〕		s A
電位差（電圧）、起電力	ボルト〔V〕	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラッド〔F〕	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム〔Ω〕	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンズ〔S〕	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束	ウェーバ〔Wb〕		$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	テスラ〔T〕		$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー〔H〕		$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度	℃	K
光束	ルーメン〔lm〕		$m^2\ m^{-2}\ cd = cd$
照度	ルクス〔lx〕		$m^2\ m^{-4}\ cd = m^{-2}\ cd$
（放射性核種の）放射能	ベクレル〔Bq〕		s^{-1}
吸収線量・カーマ	グレイ〔Gy〕		$m^2\ s^{-2}$ (=J/kg)
（各種の）線量当量	シーベルト〔Sv〕		$m^2\ s^{-2}$ (=J/kg)
酵素活性	カタール〔kat〕		$s^{-1}\ mol$

たく同じ意味をもっている。

- ③ 多数定義される SI 組立単位のなかで、22 種類の単位に固有の名称とその独自の記号を与えている（表 1.3）。
- ④ SI 単位の 10^{-24} から 10^{24} までの大きさの分量・倍量単位を表すための 20 種類の SI 接頭語を導入し、実用上 0.1 と 1000 の間に入るような大きさの単位をつくることができる。

表 1.3 のなかで、平面角の単位ラジアン [rad] および立体角の単位ステラジアン [sr] は長らく SI 補助単位として基本単位に準じるものとして位置付けられていたが、第 20 回 CGPM (1995) で平面角、立体角を同じ次元の量（長さまたは面積）の比で表される無次元量に対する組立単位（数字の）1 に与える固有の名称およびその独自の単位記号とすることが採択され、第 21 回 CGPM (1999) で、酵素活性の単位であるモル毎秒 [mol/s] を固有の名称カタルとその単位記号 [kat] とすることが採択された。

1.1.2 SI 基本単位の定義

質量以外の基本単位は物理法則を用いて定義されているため、定義が変わらない限りつねに一定である。表 1.4 に SI 基本単位の定義を示す。

表 1.4 SI 基本単位の定義

量	基本単位	定 義
	名称 [記号]	
時 間	秒 [s]	セシウム 133 原子の基底状態の二つの超微細準位 (F=4, M=0 および F=3, M=0) 間の遷移に対応する放射の周期の 9 192 631 770 倍の継続時間
長 さ	メートル [m]	1 秒の 1/299 792 458 の時間に光が真空中を進む距離
質 量	キログラム [kg]	国際キログラム原器の質量
電 流	アンペア [A]	無限に長く、無限に小さい円形断面積をもつ 2 本の直線状導体を真空中に 1 メートルの間隔で平行に置いたとき、導体の長さ 1 メートルにつき 2×10^{-7} ニュートンの力を及ぼし合う導体のそれぞれに流れる電流の大きさ
熱力学温度	ケルビン [K]	水の三重点の熱力学温度の 1/273.16。温度間隔も同じ単位

4 1. 化学の基本事項

表 1.4 (つづき)

量	基本単位	定 義
	名称〔記号〕	
物質量	モル [mol]	0.012 kg の炭素 12 に含まれる原子と等しい数の構成要素を含む系の物質量。モルを使うときは、構成要素 (entités élémentaires) が指定されなければならないが、それは原子、分子、イオン、電子、その他の粒子またはこの種の粒子の特定の集合体であってよい。
光 度	カンデラ [cd]	周波数 540×10^{12} ヘルツの単色放射を放出し、所定方向の放射強度が $1/683 \text{ W sr}^{-1}$ である光源のその方向における光度

1.1.3 SI 単位の表記法

SI では、すべての物理量の単位は一つか複数の SI 基本単位および SI 組立単位の累乗の積で表現できる。これらの単位記号の書き方について以下に示すいくつかの規則が設けられている。

- ① 物理量の書体はイタリック体 (体積: V , 濃度: C など, 例外: pH) とし、単位の書体は立体活字 (ローマン体) で表記する (電圧: V , 電気量: C など)。
- ② 二つ以上の単位の積で新しい単位を表現する場合、単位の間にスペースを入れるか、間に中黒点 (\cdot) を打って表記する。例えばキログラム秒は単位の間にスペースを入れて kg s とするか、間に点を打って $\text{kg}\cdot\text{s}$ とする。
- ③ 単位どうしの商の形で単位を表現する場合は、つぎのいずれかの記法を用いる。

例: m/s^2 または m s^{-2} (m/s/s は不適切)

$\text{J}/(\text{mol K})$ または $\text{J mol}^{-1} \text{K}^{-1}$ (J/mol/K は不適切)

ただし、斜線 (/) による記法では、同一行に二つ以上の斜線を入れてはいけない。複雑な構成の単位の場合は負のべき乗または括弧を用いる。

例: ヘンリー定数の単位は、 $\text{mol dm}^{-3} \text{Pa}^{-1}$ または $\text{mol}/(\text{dm}^3 \text{Pa})$ とする ($\text{mol}/\text{dm}^3/\text{Pa}$ は不適切)。

- ④ 接頭語の記号は立体 (ローマン体) 文字とし、単位記号との間にスパー

スを置かずに表記する。

単位記号のべき乗は接頭語まで含み、全体として不可分な新記号を構成する。質量だけは接頭語 k が付いて基本単位になっているが、マイクログラム (10^{-6} g) は μg と書き、1 nkg のように合成接頭語を用いて書かない。

- ⑤ 二つ以上の単位を組み合わせて表現する単位にも同様、接頭語を一つだけ用いる。ただし、ISO 1000 (および JIS Z 8203) では、分母にある kg は基本単位であるから、接頭語付きの単位と見なさない。

1.1.4 本試験で出題される非 SI 単位

SI 単位ではないが、本試験でよく出題される単位を表 1.5 に示す。

表 1.5 本試験に出題される非 SI 単位の名称と記号

物理量	単位の名称	単位の記号	SI (基本) 単位による表記
長さ	オングストローム (電磁波, 膜圧, 表面の粗さ, 結晶格子)	Å	10^{-10} m
体積	リットル	l, l, L	10^{-3} m ³ , dm ³
エネルギー	電子ボルト	eV	1 eV = 1.602×10^{-19} J
質量	トン	t	10^3 kg
圧力	アトム	atm	海面での大気圧を 1 気圧とし, 1 atm = 101 325 Pa = 1×10^5 Pa

1.1.5 有効数字と不確かさ

数値を公式に代入する際に正確な計算をすることはもちろん、計算の桁数をいくらにするかということに注意する。一般に、与えられた測定値の不確かさ (偶然誤差) は、測定値の最後の桁で少なくとも ± 1 ある。有効数字の桁数を求める方法は、その数を標準表記で表して、 10^r 部分の前にある数字の桁数でわかる。例えば、ファラデー定数が $96\,500 \text{ C mol}^{-1}$ で与えられていた場合、その数を標準表記に表すと、 9.65×10^4 となるので、有効数字は 3 桁である。有効数字の桁数は、最も不確かな測定値の有効数字の桁数と同じにする必要がある。逆に、求めたい測定結果の数値の有効桁数が 2 桁であるならば、3 桁まで測定し、計算する必要がある。

6 1. 化学の基本事項

不確かさと混同する用語に誤差がある。不確かさは、測定についての疑わしさを反映する量であるのに対して、誤差は測定値と真の値との差である。一般に、真の値を求めることが不可能であるから、最も確からしい値を得るためには、数回の測定結果から偶然誤差の程度を見積もる必要がある。式(1.1)に示すように平均値と測定値の差である偏差の2乗和から求められる標準偏差 s は、正規分布の広がりを求める尺度になる。

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (1.1)$$

ここで、 N : 有限の測定回数, x_i : i 番目の測定値, \bar{x} : 回測定の平均値であり、真の値の推定値を表す。

2個の独立した測定値の足し算と引き算の場合には、絶対的な不確かさは加成性があり、式(1.2), (1.3)に従う。

$$s^2 = s_a^2 + s_b^2 \quad (1.2)$$

$$s = \sqrt{s_a^2 + s_b^2} \quad (1.3)$$

したがって、たがいに独立した測定値の和および差の標準偏差はたがいに等しいので、絶対的な不確かさも等しい。また、たがいに独立した測定値の掛け算および割り算の場合には、相対的な不確かさに加成性があり、つぎの式(1.4)～(1.6)に従う。

$$(s^2)_{\text{相対}} = (s_a^2)_{\text{相対}} + (s_b^2)_{\text{相対}} \quad (1.4)$$

$$(s)_{\text{相対}} = \sqrt{(s_a^2)_{\text{相対}} + (s_b^2)_{\text{相対}}} \quad (1.5)$$

$$s = x \times (s)_{\text{相対}} \quad (1.6)$$

ここで、 x : 乗除で得られた数値である。

同様に、たがいに独立した測定値の掛け算および割り算の標準偏差はたがいに等しいので、絶対的な不確かさも等しい。このように、間接測定で得られた測定値の誤差は、それぞれの直接測定値の誤差の合成により表されることを誤差伝播ばの法則という。

環境計量士(濃度関係)
新 環境計量に関する基礎知識 解説と対策 (化学)

©(社)日本計量振興協会 2000,2011

2000年12月15日 初版第1刷発行
2007年6月15日 初版第6刷発行
2011年11月2日 新版第1刷発行

検印省略

編 者 (社)日本計量振興協会
東京都新宿区納戸町 25-1
電話 (03)3268-4920
著 者 ^{すみ よし こう いち}
住 吉 孝 一
発 行 者 株式会社 コロナ社
代 表 者 牛来真也
印 刷 所 萩原印刷株式会社

112-0011 東京都文京区千石 4-46-10

発行所 株式会社 コロナ社

CORONA PUBLISHING CO., LTD.

Tokyo Japan

振替 00140-8-14844・電話(03)3941-3131(代)

ホームページ <http://www.coronasha.co.jp>

ISBN 978-4-339-03201-7 (柏原) (製本:愛千製本所)

Printed in Japan



本書のコピー、スキャン、デジタル化等の無断複製・転載は著作権法上での例外を除き禁じられています。購入者以外の第三者による本書の電子データ化及び電子書籍化は、いかなる場合も認めておりません。

落丁・乱丁本はお取替えいたします