

まえがき

分析化学の学習は、「知識としての基礎理論」と、「技術としての実験操作」の両輪から成り立っている。後者の実験操作法は『実験実習』において修得することになる。

本書では、前者の基礎理論の修得を目的としている。後者の実験実習における試薬の選択やそれを使用した濃度の根拠は、前者に基づいている。具体的な例としては、「錯体生成」を利用した分析法における「指示薬の選定や滴定時のpH値の決定」や「妨害物質の影響を防ぐための手法」を理解するには、それぞれ、「74ページ」と「77ページ」から始まる部分でそれが可能となっている。そのため、計算問題を主とした多くの「設問」が用意され、その解答を得る課程で基礎理論が理解できるように構成されている。

学習には、〈「ひとりで学べる」部分と「ひとりでは学べない」部分〉(日垣 隆)がある。夏休みの課題のように「ひとりで学べる」部分のみで構成されている場合と、競技者の競技能力の向上が指導者の力量に負うところが大きいスポーツの世界のように「ひとりでは学べない」部分のみでできている場合とがある。

そこで、学校における学習について見てみる。「ひとりで学べる」内容が大部分を占めている科目と、「ひとりでは学べない」部分が相当含まれている科目とが、いずれも同じような顔をして授業が進められていく。「ひとりでは学べない」部分の授業を、「ひとりで学べる」部分の授業のつもりで受講しているならば、その結果は火を見るよりも明らかであろう。

この「分析化学」の学習においても、「ひとりでは学べない」部分が相当含まれているので、充分注意して学習して欲しい。

基礎の知識

(1) 元素(element)

元素の周期表

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
¹ H 1.00794																	² He 4.002602
³ Li (6.941)	⁴ Be 9.012182											⁵ B 10.811	⁶ C 12.0107	⁷ N 14.0067	⁸ O 15.9994	⁹ F 18.9984032	¹⁰ Ne 20.1797
¹¹ Na 22.989770	¹² Mg 24.3050											¹³ Al 26.981538	¹⁴ Si 28.0855	¹⁵ P 30.973761	¹⁶ S 32.065	¹⁷ Cl 35.453	¹⁸ Ar 39.948
¹⁹ K 39.0983	²⁰ Ca 40.078	²¹ Sc 44.955910	²² Ti 47.867	²³ V 50.9415	²⁴ Cr 51.9961	²⁵ Mn 54.938049	²⁶ Fe 55.845	²⁷ Co 58.933200	²⁸ Ni 58.6934	²⁹ Cu 63.546	³⁰ Zn 65.39	³¹ Ga 69.723	³² Ge 72.64	³³ As 74.92160	³⁴ Se 78.96	³⁵ Br 79.904	³⁶ Kr 83.80
³⁷ Rb 85.4678	³⁸ Sr 87.62	³⁹ Y 88.90585	⁴⁰ Zr 91.224	⁴¹ Nb 92.90638	⁴² Mo 95.94	⁴³ Tc [99]	⁴⁴ Ru 101.07	⁴⁵ Rh 102.90550	⁴⁶ Pd 106.42	⁴⁷ Ag 107.8682	⁴⁸ Cd 112.411	⁴⁹ In 114.818	⁵⁰ Sn 118.710	⁵¹ Sb 121.760	⁵² Te 127.60	⁵³ I 126.90447	⁵⁴ Xe 131.293
⁵⁵ Cs 132.90545	⁵⁶ Ba 137.327	^{57~71} * 180.9479	⁷² Hf 178.49	⁷³ Ta 180.9479	⁷⁴ W 183.84	⁷⁵ Re 186.207	⁷⁶ Os 190.23	⁷⁷ Ir 192.217	⁷⁸ Pt 195.078	⁷⁹ Au 196.96655	⁸⁰ Hg 200.59	⁸¹ Tl 204.3833	⁸² Pb 207.2	⁸³ Bi 208.98038	⁸⁴ Po [210]	⁸⁵ At [210]	⁸⁶ Rn [222]
⁸⁷ Fr [223]	⁸⁸ Ra [226]	^{89~103} * [262]	¹⁰⁴ Rf [261]	¹⁰⁵ Db [262]	¹⁰⁶ Sg [263]	¹⁰⁷ Bh [264]	¹⁰⁸ Hs [265]	¹⁰⁹ Mt [268]	¹¹⁰ Uun [269]	¹¹¹ Uuu [272]	¹¹² Uub [277]		¹¹⁴ Uuq [289]		¹¹⁶ Uuh [289]		¹¹⁸ Uuo [293]
*	⁵⁷ La 138.9055	⁵⁸ Ce 140.116	⁵⁹ Pr 140.90765	⁶⁰ Nd 144.24	⁶¹ Pm [145]	⁶² Sm 150.36	⁶³ Eu 151.964	⁶⁴ Gd 157.25	⁶⁵ Tb 158.92534	⁶⁶ Dy 162.50	⁶⁷ Ho 164.93032	⁶⁸ Er 167.259	⁶⁹ Tm 168.93421	⁷⁰ Yb 173.04	⁷¹ Lu 174.967		
**	⁸⁹ Ac [227]	⁹⁰ Th 232.0381	⁹¹ Pa 231.03588	⁹² U 238.02891	⁹³ Np [237]	⁹⁴ Pu [239]	⁹⁵ Am [243]	⁹⁶ Cm [247]	⁹⁷ Bk [247]	⁹⁸ Cf [252]	⁹⁹ Es [252]	¹⁰⁰ Fm [257]	¹⁰¹ Md [258]	¹⁰² No [259]	¹⁰³ Lr [262]		

*ランタノイド **アクチノイド

表 1. 元素

原子番号	元素	[Element]	記号	原子量
1	水素	[Hydrogen]	H	1.00794
2	ヘリウム	[Helium]	He	4.002602
3	リチウム	[Lithium]	Li	6.941
4	ベリリウム	[Beryllium]	Be	9.012182
5	ホウ素	[Boron]	B	10.811
6	炭素	[Carbon]	C	12.011
7	窒素	[Nitrogen]	N	14.00674
8	酸素	[Oxygen]	O	15.9994
9	フッ素	[Fluorine]	F	18.9984032
10	ネオン	[Neon]	Ne	20.179
11	ナトリウム	[Sodium]	Na	22.989768
12	マグネシウム	[Magnesium]	Mg	24.3050
13	アルミニウム	[Aluminium]	Al	26.981539
14	ケイ素	[Silicon]	Si	28.0855
15	リン	[Phosphorus]	P	30.973762
16	硫黄	[Sulfur]	S	32.066
17	塩素	[Chlorine]	Cl	35.4527
18	アルゴン	[Argon]	Ar	39.948
19	カリウム	[Potassium]	K	39.0983
20	カルシウム	[Calcium]	Ca	40.078
21	スカンジウム	[Scandium]	Sc	44.955910
22	チタン	[Titanium]	Ti	47.88
23	バナジウム	[Vanadium]	V	50.9415
24	クロム	[Chromium]	Cr	51.9961
25	マンガン	[Manganese]	Mn	54.93805
26	鉄	[Iron]	Fe	55.847
27	コバルト	[Cobalt]	Co	58.93320
28	ニッケル	[Nickel]	Ni	58.69
29	銅	[Copper]	Cu	63.546
30	亜鉛	[Zinc]	Zn	65.39
31	ガリウム	[Gallium]	Ga	69.723
32	ゲルマニウム	[Germanium]	Ge	72.61
33	ヒ素	[Arsenic]	As	74.92159
34	セレン	[Selenium]	Se	78.96
35	臭素	[Bromine]	Br	79.904
36	クリプトン	[Krypton]	Kr	83.80
37	ルビジウム	[Rubidium]	Rb	85.4678
38	ストロンチウム	[Strontium]	Sr	87.62
39	イットリウム	[Yttrium]	Y	88.90585
40	ジルコニウム	[Zirconium]	Zr	91.224
41	ニオブ	[Niobium]	Nb	92.90638
42	モリブデン	[Molybdenum]	Mo	95.94
43	テクネチウム	[Technetium]	Tc	(98)
44	ルテニウム	[Ruthenium]	Ru	101.07
45	ロジウム	[Rhodium]	Rh	102.90550

46	パラジウム	[Palladium]	Pd	106.42
47	銀	[Silver]	Ag	107.8682
48	カドミウム	[Cadmium]	Cd	112.411
49	インジウム	[Indium]	In	114.82
50	スズ	[Tin]	Sn	118.710
51	アンチモン	[Antimony]	Sb	121.75
52	テルル	[Tellurium]	Te	127.60
53	ヨウ素	[Iodine]	I	126.90447
54	キセノン	[Xenon]	Xe	131.29
55	セシウム	[Caesium]	Cs	132.90543
56	バリウム	[Barium]	Ba	137.327
57	ランタン	[Lanthanum]	La	138.9055
58	セリウム	[Cerium]	Ce	140.115
59	プラセオジウム	[Praseodymium]	Pr	140.90765
60	ネオジウム	[Neodymium]	Nd	144.24
61	プロメチウム	[Promethium]	Pm	(145)
62	サマリウム	[Samarium]	Sm	150.36
63	ユウロピウム	[Europium]	Eu	151.965
64	ガドリニウム	[Gadolinium]	Gd	157.25
65	テルビウム	[Terbium]	Tb	158.92534
66	ジスプロシウム	[Dysprosium]	Dy	162.50
67	ホルミウム	[Holmium]	Ho	164.93032
68	エルビウム	[Erbium]	Er	167.26
69	ツリウム	[Thulium]	Tm	168.93421
70	イッテルビウム	[Ytterbium]	Yb	173.04
71	ルテチウム	[Lutetium]	Lu	174.967
72	ハフニウム	[Hafnium]	Hf	178.49
73	タンタル	[Tantalum]	Ta	180.9479
74	タングステン	[Tungsten]	W	183.85
75	レニウム	[Rhenium]	Re	186.207
76	オスミウム	[Osmium]	Os	190.2
77	イリジウム	[Iridium]	Ir	192.22
78	白金	[Platinum]	Pt	195.08
79	金	[Gold]	Au	196.96654
80	水銀	[Mercury]	Hg	200.59
81	タリウム	[Thallium]	Tl	204.3833
82	鉛	[Lead]	Pb	207.2
83	ビスマス	[Bismuth]	Bi	208.98037
84	ポロニウム	[Polonium]	Po	(209)
85	アスタチン	[Astatine]	At	(210)
86	ラドン	[Radon]	Rn	(222)
87	フランシウム	[Francium]	Fr	(223)
88	ラジウム	[Radium]	Ra	(226)
89	アクチニウム	[Actinium]	Ac	(227)
90	トリウム	[Thorium]	Th	232.0381
91	プロトアクチニウム	[Protactinium]	Pa	231.03588
92	ウラン	[Uranium]	U	238.0289

(2) 量

量を表す記号

英文字 1 字 (数値記号: イタリック)

添え字 (上付き, 下付き) 数値を表す記号: イタリック, それ以外: 立体

 r (半径) S (面積) V (体積) m (質量) N_A (アボガドロ定数, A: 立体) M_a (原子量, a: 立体) D_T (拡散係数, T : 絶対温度でイタリック)

[問 1] つぎの量を表すために, 一般によく使われている量記号を示せ。

(a) 時間 (b) 力 (c) 圧力 (d) 質量 (e) 長さ (f) 面積
 (g) 体積 (h) 密度 (i) 速度 (j) 加速度 (k) 温度 (l) 周波数
 (m) 電気抵抗 (n) 電流 (o) 電圧 (電位) (p) 電気量 (電荷)

《 $t, F(f), P(p), m(M), L, S, V, \rho, v, a, T, f, R, I(i), V(E), Q(q)$ 》

[補足 1] ギリシャ文字

A	B	Γ	Δ	E	Z	H	Θ	I	K	Λ	M
α	β	γ	δ	ε	ζ	η	θ	ι	κ	λ	μ
alpha	beta	gamma	delta	epsilon	zeta	eta	theta	iota	kappa	lamda	mu
アルファ	ベータ	ガンマ	デルタ	イプシロン	ゼータ	エータ	シータ	イオータ	カッパ	ラムダ	ミュー
N	Ξ	O	Π	P	Σ	T	Υ	Φ	X	Ψ	Ω
ν	ξ	ο	π	ρ	σ	τ	υ	φ	χ	ψ	ω
nu	xi	omicron	pi	rho	sigma	tau	upsilon	phi	chi	psi	omega
ニュー	クシー	オミクロン	パイ	ロー	シグマ	タウ	ウプシロン	ファイ	カイ	プサイ	オメガ

(3) 単位(unit)

S I 単位系

* 基本単位	時間	[s (second)]
	長さ	[m (metre)]
	質量	[kg (kilogram)]
	電流	[A (ampere)]
	温度	[K (kelvin)]
	物質の量	[mol (mole)]
	光度	[cd (candela)]
* 補助単位	平面角	[rad (radian)]
	立体角	[sr (steradian)]

* 単位接頭語	[m (milli)]	10^{-3}	[k (kilo)]	10^3
	[μ (micro)]	10^{-6}	[M (mega)]	10^6
	[n (nano)]	10^{-9}	[G (giga)]	10^9
	[p (pico)]	10^{-12}	[T (tera)]	10^{12}
	[f (femto)]	10^{-15}	[P (peta)]	10^{15}
	[a (atto)]	10^{-18}	[E (exa)]	10^{18}
	[z (zepto)]	10^{-21}	[Z (zetta)]	10^{21}
	[y (yocto)]	10^{-24}	[Y (yotta)]	10^{24}

[問2] つぎの量を適切な単位接頭語を使って表せ。

(a) ボーア半径: $a_0 = 5.291772083 \times 10^{-11} \text{ m}$

(b) 天文単位: $A = 1.49597870 \times 10^{11} \text{ m}$

(c) 電子のコンプトン波長: $\lambda_c = 2.426310215 \times 10^{-12} \text{ m}$

(d) 陽子のコンプトン波長: $\lambda_{cp} = 1.321409847 \times 10^{-15} \text{ m}$

(e) 素電荷: $e = 1.602176462 \times 10^{-19} \text{ C}$

(f) 陽子の質量: $m_p = 1.67262158 \times 10^{-27} \text{ kg}$

《 52.91772083 pm , 149.597870 Gm , 2.426310215 pm , 1.321409847 fm ,
 0.1602176462 aC , 1.67262158 yg 》

[補足2] 単位の表示

このテキストで、単位のみを扱う場合には、[] 内に単位の記号を書いて、数値と区別している。

例 [m] : 単位を、それだけで表示するときで、単位であることを示す[]をつけている。

[kg]

[kg m⁻³]

$6.378 \times 10^6 \text{ m}$: 数値を含めて表示するときで、単位を表す[]をつけていない。

$5.974 \times 10^{24} \text{ kg}$

$5.52 \times 10^3 \text{ kg m}^{-3}$

[問3] 力 F [N (newton)] は、質量(m) \times 加速度(a) で与えられる量 ($F = m \cdot a$) である。質量の単位は[kg]、加速度の単位は[m \cdot s⁻²]であるから、力(F)の単位[N]は、

$$[\text{N}] = [\text{kg}] \times [\text{m} \cdot \text{s}^{-2}] = [\text{m} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}]$$

電気量(電荷) Q [C (coulomb)] は、電流 I [A] と時間 t [s] の積 ($Q = I \cdot t$) であるから、

$$[\text{C}] = [\text{A} \cdot \text{s}]$$

同様に、量を与える式をもとにして、つぎの量の単位を、**SI基本単位**で示せ。

(a) 圧力 P [Pa (pascal)] $P = \frac{F}{S}$ F : 力, S : 面積

(b) エネルギー E [J (joule)] $E = PV$ P : 圧力, V : 体積

(c) 仕事率 P [W (watt)] $P = \frac{E}{t}$ E : エネルギー, t : 時間

(d) 電位(電圧) V [V (volt)] $E = VQ$ E : エネルギー, Q : 電気量(電荷)

(e) 静電容量 C [F (farad)] $C = \frac{Q}{V}$ Q : 電気量(電荷), V : 電位(電圧)

(f) 電気抵抗 R [Ω (ohm)] $I = \frac{V}{R}$ V : 電位(電圧), I : 電流

《 $[\text{Pa}] = [\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}]$, $[\text{J}] = [\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}]$, $[\text{W}] = [\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3}]$, $[\text{V}] = [\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-1}]$,
 $[\text{F}] = [\text{m}^{-2} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^4 \cdot \text{A}^2]$, $[\Omega] = [\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-3} \cdot \text{A}^{-2}]$ 》

[問4] アルベルト・アインシュタインの特殊相対性理論によれば、質量 m の物質は mc^2 のエネルギーを持っているという。この mc^2 がエネルギーの単位 [J (S I 基本単位では $\text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}$)] を持っていることを確かめよ。ただし、 m は質量 [kg], c は光速 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$] である。

[問5] 次の式が持つ単位を、S I 基本単位で示せ。ただし、

n : 物質の量 [mol],	R : 気体定数 [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$],	T : 温度 [K],
V : 体積 [m^3],	M_r : 分子量 [$\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$],	e : 素電荷 [C],
ϵ : 誘電率 [$\text{C} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$],	k : ボルツマン定数 [$\text{J} \cdot \text{K}^{-1}$],	ϵ_0 : 真空の誘電率 [$\text{C} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$],
h : プランク定数 [J s],	m_e : 電子の質量 [kg]	

である。

なお、式中で、係数の「3」、「8」、「 π 」は、単位を持たない無次元量である。

(例) $\frac{nRT}{V}$ (解) $[\text{mol}] \times [\text{J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}] \times [\text{K}] \div [\text{m}^3]$
 $= [\text{mol} \times \text{m}^2 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \times \text{K} \div \text{m}^3]$
 $= [\text{m}^{-1} \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-2}]$

(a) $(\frac{3RT}{M_r})^{1/2}$

(b) $\frac{e^2}{8\pi\epsilon kT}$

(c) $\frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}$

《 [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$], [m], [m] 》

[補足3] 単位と事故

〈ケース1〉

1983年7月23日、エア・カナダ143便（ボーイング767-200）は、ケベック州モントリオールからアルバータ州エドモントンへの飛行中に、高度41,000フィート（約12,000m）で燃料切れを起こした。エンジン停止後は、滑空してマニトバ州ギムリーにあった元カナダ空軍基地内の滑走路跡地へ無事に着陸することができた。

この旅客機のモントリオールでの燃料の残量は7,682リットルであった。また、モントリオールからエドモントンまでの飛行に必要な燃料の量を求めると22,300kgであり、この計算は正しかった。

燃料の質量と体積の換算は、メートル法での換算係数は0.803キログラム/リットルである。また、ヤード・ポンド法での換算係数は1.77ポンド/リットルである。この換算係数から、モントリオールでは20,163リットルの燃料を給油すべきであった。しかし、その時に実際に給油された燃料は、ヤード・ポンド法での換算係数を使用した4,916リットルであり、飛行途中で燃料切れとなってしまった。

〈ケース2〉

1999年9月23日、火星探査機『マーズ・クライメート・オービター』は、同日早朝に火星を周回しはじめる予定だったが、午前5時30分頃（米東部夏時間）、同探査機が火星の裏側に姿を消した後、NASAとの通信が途絶えてしまった。

この探査機は、カリフォルニア州パサディナにあるNASAのジェット推進研究所により追跡データの分析が行われ、火星への軌道修正が決定されていた。そして、その軌道修正の決定に基づき、同探査機を製作したLockheed-Martin Astronautics社がエンジン噴射推力の計算を行い、依頼元であるジェット推進研究所に送り返すという手順がとられていた。当時、エンジンの噴射推力計算を行っていたLockheed-Martin Astronautics社は、同計算の単位にヤード・ポンド法を使用していた。受け取り側のジェット推進研究所はそれをメートル法として受け取っていた。そして、双方は、同探査機打上げから事故発生までの9ヶ月間、このようなミスに全く気づくことはなかった。この結果、同探査機が火星表面から約150キロの高度で接近するはずであったのが、60キロ以内に接近してしまい、事故に至った。

[問6] 主なS I組立単位を、そのS I基本単位とともに示すと、

周波数 [Hz (hertz), s^{-1}]	力 [N (newton), $m \cdot k g \cdot s^{-2}$]
圧力 [Pa (pascal), $m^{-1} \cdot k g \cdot s^{-2}$]	エネルギー(仕事, 熱量) [J (joule), $m^2 \cdot k g \cdot s^{-2}$]
仕事率(電力) [W (watt), $m^2 \cdot k g \cdot s^{-3}$]	電気量(電荷) [C (coulomb), $s \cdot A$]
電圧(電位) [V (volt), $m^2 \cdot k g \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$]	静電容量 [F (farad), $m^{-2} \cdot k g^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$]
電気抵抗 [Ω (ohm), $m^2 \cdot k g \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$]	コンダクタンス [S (siemens), $m^{-2} \cdot k g^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$]
磁束 [Wb (weber), $m^2 \cdot k g \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$]	磁束密度 [T (tesla), $k g \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$]

などがある。つぎの単位を、**S I基本単位**で示せ。

- (a) 力のモーメント [N·m]
 (b) 表面張力 [N/m]
 (c) 粘度 [Pa·s]
 (d) 熱流密度 [W/m²]
 (e) 熱容量 [J/K]
 (f) 熱伝導率 [W/(m·K)]
 (g) 電界の強さ [V/m]
 (h) 誘電率 [F/m]
 (i) 電流密度 [A/m²]
 (j) 磁界の強さ [A/m]
 (k) 透磁率 [N/A²]

《 $[m^2 \cdot k g \cdot s^{-2}]$, $[k g \cdot s^{-2}]$, $[m^{-1} \cdot k g \cdot s^{-1}]$, $[k g \cdot s^{-3}]$, $[m^2 \cdot k g \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}]$, $[m \cdot k g \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}]$,
 $[m \cdot k g \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}]$, $[m^{-3} \cdot k g^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2]$, $[m^{-2} \cdot A]$, $[m^{-1} \cdot A]$, $[m \cdot k g \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}]$ 》

[問7] S I単位記号で、アルファベットの「大文字」と「小文字」で異なった単位を表す例として、「S」と「s」がある。その違いを述べよ。

(4) 基礎定数

* $\pi = 3.14159265 \dots (1)$

* $e = 2.71828183 \dots (2)$

* アボガドロ定数 $N_A = 6.02214199 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \dots (3)$

* 気体定数 $R = 8.314472 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} \dots (4)$

* ボルツマン定数 $k = 1.3806503 \times 10^{-23} \text{ J K}^{-1} \dots (5)$

* プランク定数 $h = 6.62606876 \times 10^{-34} \text{ J s} \dots (6)$

* ファラデー定数 $F = 9.64853415 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1} \dots (7)$

* 素電荷 $e = 1.602176462 \times 10^{-19} \text{ C} \dots (8)$

* 電子の静止質量 $m_e = 9.10938188 \times 10^{-31} \text{ kg} \dots (9)$

* 真空の誘電率 $\epsilon_0 = 8.854187817 \times 10^{-12} \text{ C V}^{-1} \text{ m}^{-1} \dots (10)$

* 光速度(真空中) $c = 2.99792458 \times 10^8 \text{ m s}^{-1} \dots (11)$

[問8] つぎの関係が成り立つことを、それぞれの物理定数もちいて確かめよ。

$$(a) k = \frac{R}{N_A}$$

$$(b) e = \frac{F}{N_A}$$

(5) 有効数字

- | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------|-------------------|------------------|--------------------|
| (i) | (ii) | (iii) | (iv) | (v) |
| $3.170 \times 10^{-2} \text{ kg}$ | 0.03170 kg | 31.70 g | 31.7 g | 31700 mg |
| 有効数字4桁 | 有効数字4桁 | 有効数字4桁 | 有効数字3桁 | 有効数字?桁 |

[問9] つぎの問に答えよ。

- (a) ファラデー定数を有効数字5桁で示せ。
 (b) ファラデー定数を有効数字4桁で示せ。
 (c) ファラデー定数を有効数字3桁で示せ。
 (d) 電子レンジに使われているマイクロ波の周波数 ν は 2.450 GHz である。このマイクロ波の波長 λ を有効数字5桁で示せ。ただし、波長 $\lambda = \frac{c}{\nu}$ で与えられる。
 (e) 電子レンジのマイクロ波 2.450 GHz の波長を有効数字4桁で示せ。
 (f) 電子レンジのマイクロ波 2.450 GHz の波長を有効数字3桁で示せ。

《 $9.6485 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ (96485 C mol^{-1}) , $9.649 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$ (96490 C mol^{-1} は適切ではない) , $9.65 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$, 0.12236 m (12.236 cm) , 0.1224 m (12.24 cm) , 0.122 m (12.2 cm) 》

[問10] $\frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m_e e^2}$ で表される式の値を、有効数字5桁で示せ。 《 $5.2918 \times 10^{-11} \text{ m}$ 》

[問11] nRT で表される式の値を下記の数値もちいて計算し、有効数字を考慮して示せ。

$$n = 0.626 \text{ mol} , \quad R = 8.314472 \text{ J K}^{-1} \text{ mol}^{-1} , \quad T = 273.15 \text{ K}$$

《 142.2 J (与えられている n の値は、最小 0.6255 mol 、最大 0.6264 mol の範囲にあることを示している。予想される最小値は「 142.1 J 」であり、最大値は「 142.3 J 」であるので、有効数字4桁で表せるが、最小桁の0.1の位の数値には「 ± 1 」程度の誤差を含む。 n の値の有効数字とは違っているので、注意が必要である。) 》

[補足4] 有効数字表記の例外

このテキストの設問の中で、数値が1桁～2桁で与えられていて、その値が単純な数字である場合には、その数値の有効数字は、数桁以上あるものとして取り扱う。

たとえば、[問12]の『……質量数12の炭素原子12g中に含まれている……』の「12g」は「12.000g」であることを示す。

同様に、[問13]の『鉄1g中には、鉄の原子が……』の「1g」は「1.0000g」であることを、また、[問32]の『0.2mol/LのNaCl溶液100mLと……』の「0.2mol/L」や「100mL」も「0.2000mol/L」や「100.00mL」であることを示す。

ただし、[問24]の『 Na_2SO_4 (式量: 142.04) は、 20°C で100gの水に19.0gまで溶ける……』の「19.0g」は測定値であるので、有効数字3桁の値であり、「19.000g」を示すものではない。

(6) モル(mole)

[問12] 質量数12の炭素原子1個の質量は 1.99265×10^{-23} gである。この質量数12の炭素原子12 g中に含まれている原子の数を求めよ。《 6.022×10^{23} (個)》

$$\text{アボガドロ定数 } N_A = 6.02214199 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1} \quad \dots\dots (12)$$

[問13] 鉄1 g中には、鉄の原子が 1.0783×10^{22} 個存在している。この数を単位 [mol] で表わせ。

《 0.017906 mol 》

[問14] 1 kgの水には 55.508 mol の水の分子がある。この分子の量を個数に換算せよ。

《 3.343×10^{25} (個)》

[問15] アルミニウム (Al) 原子1個の質量は 4.4804×10^{-23} gである。1 gの純粋なアルミニウムでできたアルミホイル (アルミ箔) があるとき、このアルミホイルに存在するアルミニウム原子の数を求めよ。さらにこのアルミニウム原子の数を、単位 [mol] で表わせ。《 2.2319×10^{22} (個), 0.03706 mol 》

[問16] コバルト (Co) 原子1個の質量は 9.7861×10^{-23} gである。12 gの純粋なコバルトでできた立方体があるとき、この立方体に存在するコバルト原子の数を求めよ。さらにこのコバルト原子の数を、単位 [mol] で表わせ。

《 1.2262×10^{23} (個), 0.2036 mol 》

[問17] フッ素 (F) 原子1個の質量は 3.15476×10^{-23} gである。1 gのフッ素ガス (F_2) があるとき、 F_2 分子の数を求めよ。さらにこの F_2 分子の数を単位 [mol] で表わせ。《 1.5849×10^{22} (個), 0.02632 mol 》

(7) 化合物(compound)と化学式(chemical formula)

(a) 分子式 $HC1, NH_3$

(b) イオン式 OH^-, NH_4^+

(c) 組成式 $SiO_2, BN, NaCl, CsCl, CaF_2, TiO_2$

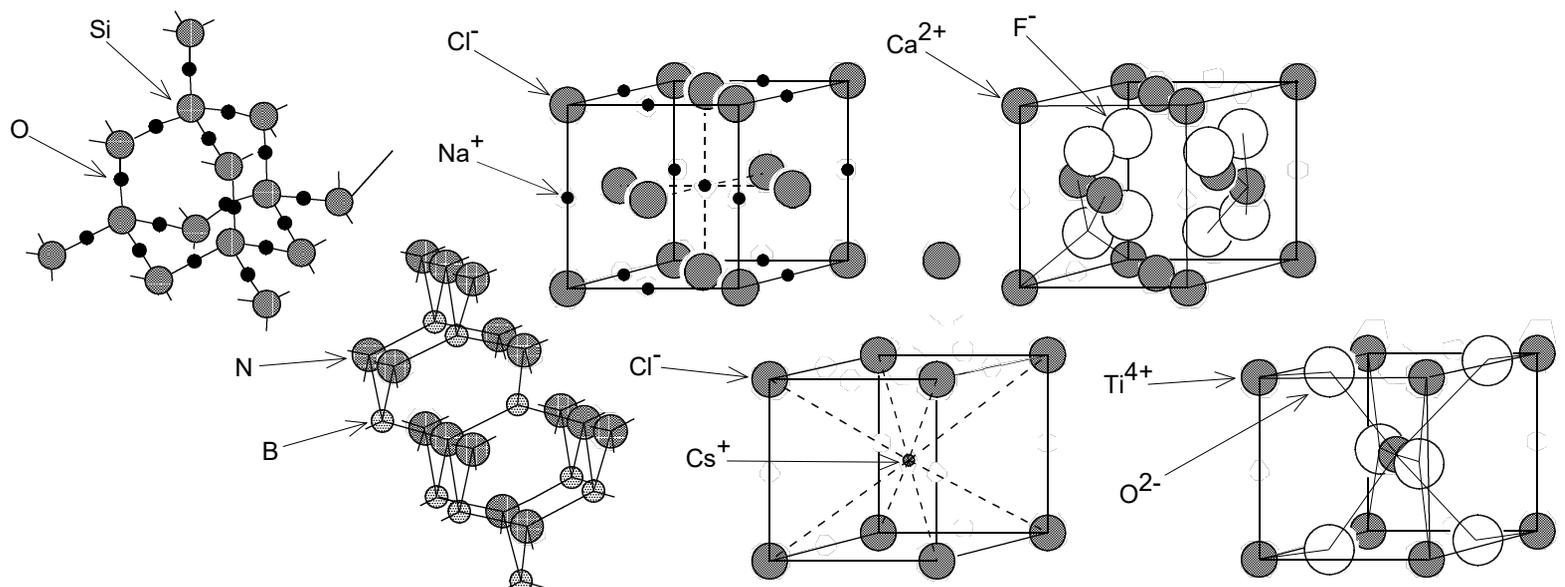
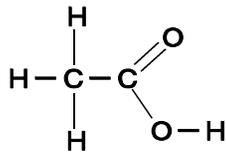


図1. 水晶, 窒化ホウ素, 岩塩, 塩化セシウム, ホタル石, ルチル(金紅石)の構造

(d) 示性式 CH_3COOH , $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

(e) 構造式



[問18] 水晶ではケイ素(Si)と酸素(O)の比が1:2, 窒化ホウ素ではホウ素(B)と窒素(N)の比が1:1, 岩塩ではナトリウムイオン(Na^+)と塩化物イオン(Cl^-)の比が1:1, 塩化セシウムではセシウムイオン(Cs^+)と塩化物イオン(Cl^-)の比が1:1, ホタル石ではカルシウムイオン(Ca^{2+})とフッ化物イオン(F^-)の比が1:2, ルチルではチタンイオン(Ti^{4+})と酸化物イオン(O^{2-})の比が1:2であることを確かめよ。

(8) 原子量(atomic weight), 分子量(molecular weight), 式量(formula weight)

[問19] フッ素原子1個の質量は 3.15476×10^{-23} gである。フッ素の原子量を求めよ。 《18.998》

[問20] アルミニウム原子1個の質量は 4.4804×10^{-23} gである。原子量を求めよ。 《26.982》

[問21] フッ化アルミニウム(AlF_3)の分子量を求めよ。 《83.976》

[問22] ケイ素の原子量は28.0855, 酸素の原子量は15.9994, ナトリウムの原子量は22.989768, 塩素の原子量は35.4527である。二酸化ケイ素(SiO_2)と塩化ナトリウム(NaCl)の式量を求めよ。
《60.0843, 58.4425》

(9) 電解質(electrolyte)

(a) 酸(acid) HCl , CH_3COOH , HNO_3 , H_2SO_4 , H_3PO_4 (b) 塩基(base) NaOH , KOH , $\text{Mg}(\text{OH})_2$, $\text{Al}(\text{OH})_3$, NH_3 (c) 塩(salt) NaCl , CH_3COOK , $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$, $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$, $(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$

[問23] 下に示す酸と塩基の表の空欄部分に, 生成される塩の化学式と化合物名を書き入れよ。

	NaOH	KOH	$\text{Mg}(\text{OH})_2$	$\text{Al}(\text{OH})_3$	NH_3
HCl	NaCl 塩化ナトリウム				
H_2S		K_2S 硫化カリウム			
HNO_3			$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$ 硝酸マグネシウム		
H_2SO_4				$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 硫酸アルミニウム	
H_3PO_4					$(\text{NH}_4)_3\text{PO}_4$ リン酸アンモニウム

(10) 電解質の性質

(a) 強電解質(strong electrolyte)

HCl (90%, 0.1M), HNO₃ (90%), NaOH (90%), KOH (90%), KCl (85%)
 無機酸の大部分, アルカリ金属の水酸化物, アルカリ土類金属の水酸化物, アルカリ金属の塩

(b) 弱電解質(weak electrolyte)

NH₃ (1.3%), HCN (0.01%), CH₃COOH (1.3%)
 アンモニア, 無機酸の一部(リン酸, 亜硫酸, ホウ酸, 炭酸など), 有機酸(スルホン酸を除く), 有機塩基

(11) 溶液(solution)

溶質(solute), 溶媒(solvent), 溶媒和, 水和
 分極, δ+, δ-, 電気陰性度

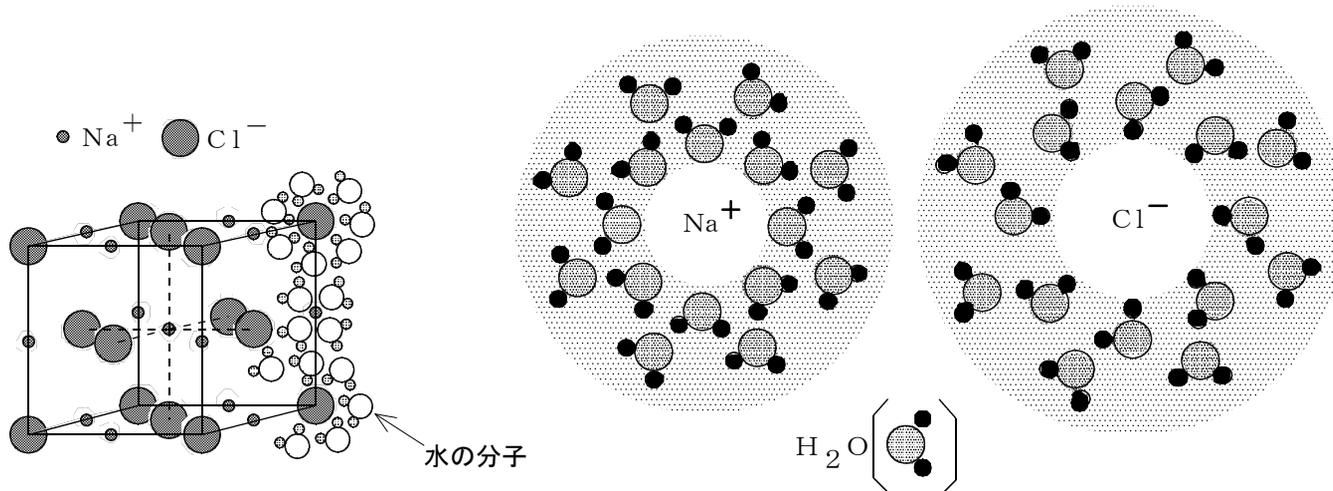


図2. イオンの水への溶解

(12) 難溶性塩

表2. 難溶性塩

フッ化物	CaF ₂ , MgF ₂
塩化物	AgCl, CuCl, Hg ₂ Cl ₂ , PbCl ₂
臭化物	AgBr, CuBr, Hg ₂ Br ₂ , PbBr ₂
ヨウ化物	AgI, CuI, Hg ₂ I ₂ , PbI ₂
水酸化物	Al(OH) ₃ , Ba(OH) ₂ , Ca(OH) ₂ , Cd(OH) ₂ , Co(OH) ₂ , Co(OH) ₃ , Cr(OH) ₃ , Fe(OH) ₂ , Fe(OH) ₃ , Mg(OH) ₂ , Ni(OH) ₂ , Zn(OH) ₂
硫化物	Ag ₂ S, CdS, CuS, FeS, Fe ₂ S ₃ , HgS, NiS, PbS, SnS, ZnS
炭酸塩	CaCO ₃ , CdCO ₃ , CoCO ₃ , CuCO ₃ , FeCO ₃ , NiCO ₃ , ZnCO ₃
硫酸塩	BaSO ₄ , CaSO ₄ , PbSO ₄ , SrSO ₄
シュウ酸塩	Ag ₂ C ₂ O ₄ , BaC ₂ O ₄ , CaC ₂ O ₄ , CdC ₂ O ₄ , MgC ₂ O ₄ , ZnC ₂ O ₄

(13) 濃度 (concentration)

- (a) 体積モル濃度 (molarity) (容量モル濃度) $[\text{mol dm}^{-3}, \text{mol/L}, \text{M}]$
- (b) 質量モル濃度 (molality) (重量モル濃度) $[\text{mol kg}^{-1}]$
- (c) 規定度 (normality) $[\text{g-equivalent dm}^{-3}, \text{g-eq/L}, \text{N}]$
- (d) 百分率 (percent) (質量百分率) $[\%]$
- (e) 体積百分率 (volume by volume percent) $[\text{v/v}\%]$
- (f) 百万分率 (parts per million) $[\text{ppm}]$

[問24] Na_2SO_4 (式量: 142.04) は, 20°C で100 gの水に19.0 gまで溶ける。 Na_2SO_4 飽和溶液の質量モル濃度を求めよ。《 1.34 mol kg^{-1} 》

[問25] 6.09 mol/L (体積モル濃度) の NaOH (式量: 39.997) 溶液をつくった。この溶液の密度は 1.2191 g cm^{-3} であった。 NaOH の質量モル濃度を求めよ。《 6.24 mol kg^{-1} 》

[問26] 100.0 mL の純粋なエタノールと, 100.0 mL の純粋な水とを混合した。混合した後の溶液の密度は 0.931 g cm^{-3} となった。ただし, 純粋なエタノールの密度は 0.7943 g cm^{-3} , 純粋な水の密度は 0.9970 g cm^{-3} である。

- (a) この溶液のエタノールの百分率 (質量百分率) を求めよ。
- (b) この溶液の水の百分率 (質量百分率) を求めよ。
- (c) この溶液のエタノールの体積百分率を求めよ。
- (d) この溶液の水の体積百分率を求めよ。
- (e) この溶液で, エタノールの質量百分率と水の質量百分率の和が100%になるのに, エタノールの体積百分率と水の体積百分率の和は100%にならない理由を考えよ。
- 《 44.34% , 55.66% , $51.97 \text{ v/v}\%$, $51.97 \text{ v/v}\%$ 》

[問27] 純粋なエタノールの密度は 0.7943 g cm^{-3} , 純粋な水の密度は 0.9970 g cm^{-3} である。つぎの溶液の体積百分率を求めよ。

(例) 質量百分率濃度で50.0%のエタノール溶液 (この溶液の密度= 0.919 g cm^{-3})

(解) 100.0 mL の溶液を考える。この溶液の質量は 91.9 g であるから, この溶液中のエタノールの質量は 45.95 g である。 45.95 g の純粋なエタノールの体積は 57.8 mL であるから, 100.0 mL の溶液中に, 純粋なエタノールの体積として 57.8 mL 分が含まれていることになる。したがって, この溶液中のエタノールの体積百分率は $57.8 \text{ v/v}\%$ である。

- (a) 質量百分率濃度で42.5%のエタノール溶液 (この溶液の密度= 0.934 g cm^{-3})
- (b) 質量百分率濃度で25.1%のエタノール溶液 (この溶液の密度= 0.965 g cm^{-3})
- 《 $50.0 \text{ v/v}\%$, $30.5 \text{ v/v}\%$ 》

[問28] (a) 日本産の米 (玄米) 1 kg 中に含まれるカドミウム量は平均 $60 \mu\text{g}$ である。この濃度を ppm 単位で示せ。

(b) FAO/WHO合同会議による人の体重 1 kg 当たり1週間当たりのカドミウムの暫定耐容摂取量は $7 \mu\text{g}$ とされている。また, 国内では, カドミウム濃度 0.4 ppm 以上の米 (玄米) は食用にされていない。もし, 体重 60 kg の人が毎日 150 g の玄米 (その玄米は, 許容される最大値である 0.4 ppm のカドミウムを含んでいるとする) を精米せずに摂取しているとき, 玄米からのカドミウム摂取量を, 体重 1 kg 当たり1週間当たりの質量で示せ。

《 0.060 ppm , $7 \mu\text{g}/(\text{kg 週})$ 》

(14) 体積モル濃度

[問29] NaCl 0.1 molを水に溶かして500 mLの溶液とした。 NaCl の濃度を求めよ。《0.20 mol/L》

[問30] CaCl_2 0.02 molを水に溶かして200 mLの溶液とした。このとき、溶液中に存在する CaCl_2 の濃度を求めよ。《0.10 mol/L》

[問31] FeCl_3 0.1 molを水に溶かして200 mLの溶液とした。 FeCl_3 の濃度を求めよ。《0.50 mol/L》

[問32] 0.2 mol/Lの NaCl 溶液100 mLと400 mLの水を混合した。このとき、溶液中に存在する NaCl の濃度を求めよ。《0.040 mol/L》

[問33] 0.1 mol/Lの CaCl_2 溶液100 mLに、400 mLの水を混合した。このとき、溶液中に存在する CaCl_2 の濃度を求めよ。《0.020 mol/L》

[問34] 0.5 mol/Lの FeCl_3 溶液100 mLに、400 mLの水を混合した。このとき、溶液中に存在する FeCl_3 の濃度を求めよ。《0.10 mol/L》

[問35] 0.2 mol/Lの NaCl 溶液100 mLと、0.10 mol/Lの CaCl_2 溶液400 mLを混合した。この混合溶液中の NaCl の濃度を求めよ。《0.040 mol/L》

[問36] 0.2 mol/Lの NaCl 溶液100 mLと、0.1 mol/Lの CaCl_2 溶液400 mLを混合した。この混合溶液中の CaCl_2 の濃度を求めよ。《0.080 mol/L》

[問37] 0.2 mol/Lの NaCl 溶液100 mLと、0.5 mol/Lの NaCl 溶液400 mLを混合した。この混合溶液中の NaCl の濃度を求めよ。《0.44 mol/L》

[問38] NaCl 0.1 molを500 mLの水に溶かした。溶液中では、 NaCl は Na^+ と Cl^- に100%解離しているから、 Na^+ と Cl^- の濃度はともに0.2 mol/Lである。それでは、 NaCl 0.2 molを500 mLの水に溶かした。この溶液中の Cl^- の濃度を求めよ。《0.40 mol/L》

[問39] CaCl_2 0.02 molを200 mLの水に溶かした。この溶液中の Cl^- の濃度を求めよ。《0.20 mol/L》

[問40] FeCl_3 0.1 molを200 mLの水に溶かした。この溶液中の Cl^- の濃度を求めよ。《1.50 mol/L》

[問41] 0.2 mol/Lの NaCl 溶液100 mLと、0.3 mol/Lの KCl 溶液400 mLを混合した。 Cl^- の濃度を求めよ。《0.28 mol/L》

[問42] 0.2 mol/Lの NaCl 溶液100 mLと、0.1 mol/Lの CaCl_2 溶液400 mLを混合した。 Cl^- の濃度を求めよ。《0.20 mol/L》

[問43] 0.2 mol/Lの NaCl 溶液100 mLと、0.5 mol/Lの FeCl_3 溶液400 mLを混合した。 Cl^- の濃度を求めよ。《1.24 mol/L》

[問44] NaCl (式量: 58.44) を0.584 g 秤取し, それを水に溶かして200 mLの溶液を調製した。 NaCl の濃度を求めよ。 《 0.050 mol/L 》

[問45] KCl (式量: 74.55) を1.491 g 秤取し, それを水に溶かして100 mLの溶液を調製した。 KCl の濃度を求めよ。 《 0.20 mol/L 》

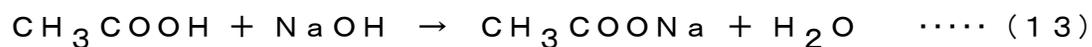
[問46] CaCl_2 (式量: 110.98) の2.22 g を水に溶かして500 mLの溶液とした。この溶液中の Cl^- の濃度を求めよ。 《 0.080 mol/L 》

[問47] 硝酸銀 (AgNO_3) (式量: 169.87) の溶液 (濃度0.05 mol/L) を1 L調製したい。このとき, 秤取すべき硝酸銀の質量を求めよ。 《 8.494 g 》

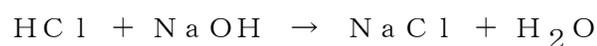
[問48] 硫酸カリウム (K_2SO_4) (式量: 174.26) を溶解して, 濃度0.2 mol/Lの K^+ を含む溶液500 mLを調製したい。秤取すべき硫酸カリウムの質量を求めよ。 《 8.713 g 》

[問49] (a) 硫酸鉄(II)アンモニウム六水和物 ($\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) の式量を求めよ。
 (b) 10 mLの溶液中に Fe^{2+} の量として0.1 gを含む溶液を500 mL調製したい。秤取すべき硫酸鉄(II)アンモニウム ($\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) の質量を求めよ。 《 392.14, 35.109 g 》

(15) 酸塩基反応(acid-base reaction)



[問50] 塩酸と水酸化ナトリウム溶液との反応



において, 0.1 mol/Lの NaOH 溶液100 mLと完全に反応するために必要な0.05 mol/Lの HCl 溶液の体積を求めよ。 《 200 mL 》

[問51] 硫酸と水酸化ナトリウム溶液との反応



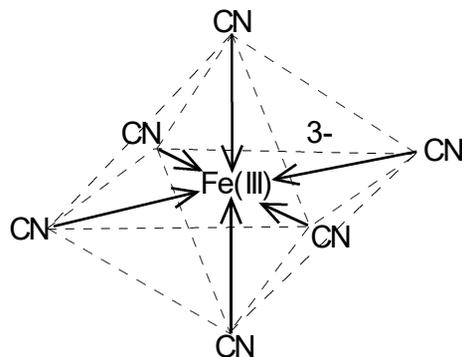
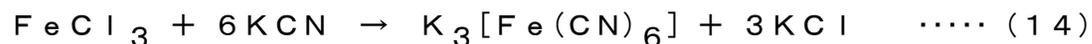
において, 0.1 mol/Lの水酸化ナトリウム溶液100 mLと完全に反応するために必要な0.05 mol/Lの硫酸の体積を求めよ。 《 100 mL 》

[問52]

スルファミン酸 (HOSO_2NH_2 , $\text{H}-\text{O}-\overset{\text{O}}{\parallel}{\text{S}}-\text{NH}_2$, 分子量: 97.08) 1 g と完全に反応するために必要な濃度

0.1 mol/Lの水酸化ナトリウム溶液の体積を求めよ。 《 103.0 mL 》

(16) 錯体生成反応(complex formation reaction)



[問53] 0.01 mol/Lの塩化鉄(III) (FeCl_3) 溶液200 mLが, シアン化カリウム (KCN , 式量: 65.12) と完全に反応させるために必要なシアン化カリウムの質量を求めよ。 《 0.7814 g 》

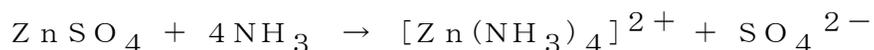
[問54] 硫酸亜鉛(II) (ZnSO_4) 溶液にアンモニア (NH_3) 溶液を加えると亜鉛イオンの錯体ができる。



0.01 mol/Lの ZnSO_4 溶液100 mLが, アンモニアと完全に反応したとき, 反応したアンモニアの量を求めよ。

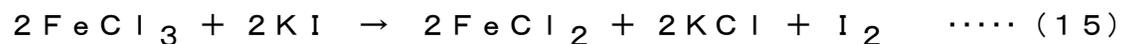
《 0.004 mol 》

[問55] 硫酸亜鉛(II)溶液にアンモニア溶液を加えると亜鉛イオンの錯体ができる。



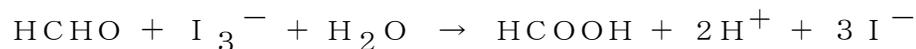
0.01 mol/Lの ZnSO_4 溶液100 mLと, 0.1 mol/Lの濃度のアンモニア溶液100 mLを混合した。反応が完了したとき, この溶液中のアンモニアの濃度を求めよ。 《 0.03 mol/L 》

(17) 酸化還元反応(redox reaction)



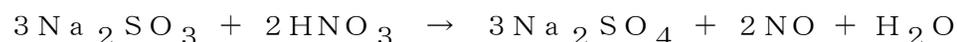
[問56] 塩化鉄(III)溶液(濃度: 0.1 mol/L)の200 mLに充分な量のような化カリウムを加えた。生成した I_2 の量(単位[mol])を求めよ。 《 0.01 mol 》

[問57] ホルムアルデヒド (HCHO) とヨウ素 (I_3^-) を反応させると, ぎ酸(蟻酸, HCOOH) が生成する。



ホルムアルデヒド(分子量: 30.03)を含む溶液に充分な量のような素を加え, 反応を完結させた。生成したぎ酸の量は, 0.0136 molであった。ホルムアルデヒドの量(単位[g])を求めよ。 《 0.408 g 》

[問58] 亜硫酸ナトリウム (Na_2SO_3) 溶液に硝酸を加えると, 次の反応が起こる。



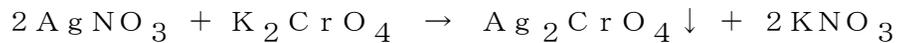
Na_2SO_3 (式量: 126.04) を1 g 秤取して水100 mLに溶かした。この溶液に充分な量の硝酸を加え, 加熱して反応を完結させた。生成した一酸化窒素(気体)の25°C, 1気圧での体積を求めよ。ただし, 25°C, 1気圧での理想気体1 molの体積は24.47 Lである。 《 129.43 mL 》

(18) 沈澱反応(precipitation reaction)



[問59] 硝酸銀 (AgNO_3) 溶液に充分な量の塩化ナトリウム (NaCl) 溶液を加えると、塩化銀 (AgCl) が沈殿する。濃度 0.01 mol/L の硝酸銀溶液 200 mL に、充分な量の塩化ナトリウム溶液を加えたとき、生成した塩化銀 (式量: 143.32) の質量を求めよ。《 0.2866 g 》

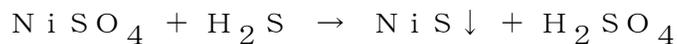
[問60] 濃度 0.01 mol/L の硝酸銀 (AgNO_3) 溶液が 200 mL ある。この溶液に、クロム酸カリウム (K_2CrO_4) を加えると、クロム酸銀 (Ag_2CrO_4) が沈殿する。



この溶液に含まれている銀イオンを完全に沈殿させるために必要なクロム酸カリウム (式量: 194.19) の量 (単位 $[\text{g}]$) を求めよ。《 0.1942 g 》

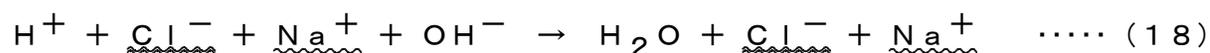
[問61] 濃度 0.01 mol/L の硝酸銀溶液 200 mL に、充分な量のクロム酸カリウム溶液を加えた。生成したクロム酸銀 (式量: 331.73) の質量を求めよ。《 0.3317 g 》

[問62] 硫酸ニッケル溶液に硫化水素を吹き込むと沈澱が生じる。



硫酸ニッケル溶液 (濃度: 0.1 mol/L) 200 mL 中に含まれるニッケルイオンをすべて硫化ニッケルとして沈澱させるために必要な硫化水素の量を、 25°C 、 1 気圧での体積を求めよ。ただし、 25°C 、 1 気圧での理想気体 1 mol の体積は 24.47 L である。《 489.4 mL 》

(19) イオン式による化学反応式



[問63] 次の物質が水溶液中でどのようなイオンになっているかを示せ。

- | | | | |
|---|-----------------------------|---------------------------------------|--|
| (a) HCl | (b) NaCl | (c) KCl | (d) KI |
| (e) ZnCl_2 | (f) FeCl_2 | (g) FeCl_3 | (h) NaOH |
| (i) KOH | (j) KCN | (k) H_2SO_4 | (l) Na_2SO_4 |
| (m) K_2SO_4 | (n) NiSO_4 | (o) ZnSO_4 | (p) $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$ |
| (q) Na_2SO_3 | (r) HNO_3 | (s) NaNO_3 | (t) AgNO_3 |
| (u) H_3PO_4 | (v) K_3PO_4 | (w) $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | (x) $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ |
| (y) $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4$ | | | |

《 (a) H^+ , Cl^- (b) Na^+ , Cl^- (c) K^+ , Cl^- (d) K^+ , I^- (e) Zn^{2+} , Cl^-
 (f) Fe^{2+} , Cl^- (g) Fe^{3+} , Cl^- (h) Na^+ , OH^- (i) K^+ , OH^- (j) K^+ , CN^-
 (k) H^+ , SO_4^{2-} (l) Na^+ , SO_4^{2-} (m) K^+ , SO_4^{2-} (n) Ni^{2+} , SO_4^{2-}
 (o) Zn^{2+} , SO_4^{2-} (p) Cr^{3+} , SO_4^{2-} (q) Na^+ , SO_3^{2-} (r) H^+ , NO_3^-
 (s) Na^+ , NO_3^- (t) Ag^+ , NO_3^- (u) H^+ , PO_4^{3-} (v) K^+ , PO_4^{3-}
 (w) K^+ , $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ (x) K^+ , $[\text{Fe}(\text{CN})_6]^{3-}$ (y) $[\text{Zn}(\text{NH}_3)_4]^{2+}$, SO_4^{2-} 》

[問64] 次の水溶液中での反応をイオンによる反応式に書き直せ。

