

1 章

- 1・1 (例) 化学の守備範囲は非常に広く、今では生物から宇宙にまで広がっています。そこには、共通項があり、それは「物質の構造と性質（反応も含む）」です。物質という視点から自然を見た学問が化学といってよいでしょう。
- 1・2 (例) 「数学＝自然科学の共通言語」「物理学＝自然科学を原理から理解するための基礎」と考えると、数学や物理学がなぜ必要かがわかるでしょう。数式で表すと誤解の入る余地のない表現になります。また、電子の軌道がどんな形をしているかを明らかにしたのは物理の成果です。自然科学の他の分野（物理・生物・地学）と化学は密接に関連しています。本来、自然科学は一つで、そのアプローチの方向から物理・化学・生物・地学となっているだけで、区別すべきでないのかもしれませんが。

2 章

- 2・1 まちがっている部分を二重線で消し、[] の中に正しい用語を示します。正しい場合は[○] を最後につけます。
- (1) 原子番号は原子核中の~~中性子~~ [陽子] の数と等しい。
- (2) 原子の電子数は原子核中の陽子の数と等しい（原子はイオン化していないものとする）。
[○]
- (3) 原子核中の陽子数が同じで、中性子数が異なるものを同位体という。[○]
- (4) 同位体は~~すべて~~放射能をもつ。
※放射能をもたない同位体もあります。例として、 ^1H 、 ^{12}C など。
- (5) 原子核の周りを回る電子の通り道は~~決まっている~~ [決まっていない]。
※雲のように広がっており、どこを通るかは確率でしか表せません。
- 2・2 C（グラファイトと黒鉛とダイヤモンド）などが例になります。
- 2・3 表 2-3 を参考にして考えてみてください。
- 2・4 表 2-1 と同じように計算します。
- $$38.964 \times \frac{93.26}{100} + 39.964 \times \frac{0.01}{100} + 40.962 \times \frac{6.73}{100} = 39.09857$$
- となり、有効数字を考えて 39.099 が原子量（平均質量）になります。

3 章

- 3・1 陽イオンになると最外殻電子が抜けますので、一番外の軌道が空になります。この分、原子

半径が小さくなります。

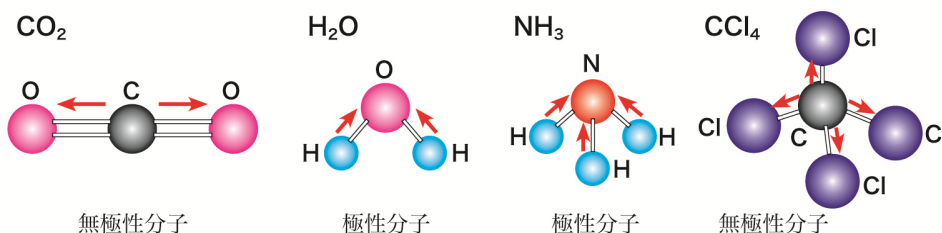
- 3・2 イオン化エネルギーは電子（最外殻電子と考えてください）を原子から取り去るのに必要なエネルギーです。このエネルギーが小さいほど、電子を取り去りやすい、つまり陽イオンにしやすいことになります。原子の立場から見ると、陽イオンになりやすいといえます。
- 3・3 電子親和力は、電子を引き付ける力の大きさです。この力が大きいほど電子を引き付けて原子の中に取り込みやすくなります。電子が原子に取り込まれると、陰イオンになりますので、電子親和力が大きいほど陰イオンになりやすくなります。
- 3・4 図 3-8 を見てください。炎色反応で発せられる光の波長は、基底状態と励起状態のエネルギーの差で決まります。このエネルギーの差は、最外殻電子の軌道と一つエネルギーの高い軌道とのエネルギーの差になります。軌道のエネルギーは元素ごとに決まっており、元素の種類が変わればエネルギーの差の値は異なります。このため、炎色反応で見える光の色は元素ごとに決まってくるわけです。

4 章

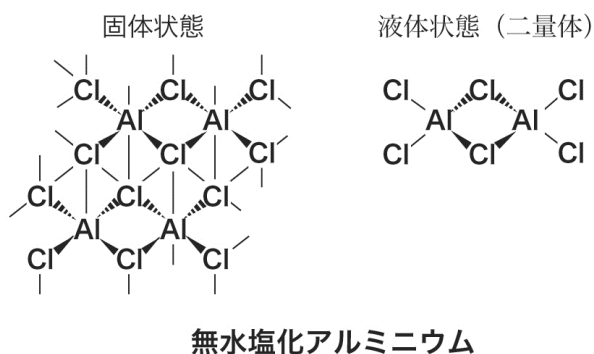
- 4・1 極性あり……(1), (2), (5)

極性なし……(3), (4), (6)

以下に、いくつかの分子の構造を示します。双極子モーメントは、各結合の分極ベクトル（矢印）の和になります。



塩化アルミニウムは、下記のような構造をとり、対称性が高く、無極性になります。



4・2 水の分子量は 18 なので,

$$1 \div 18 = 0.056 \text{ (mol)}$$

分子数は

$$0.056 \times 6.02 \times 10^{23} = 3.34 \times 10^{22} \text{ (個)}$$

4・3 分子量は下記ようになります. テキスト p.32~33 をもう一度, 見てください.

$$2 \div 0.04 = 50$$

4・4 酢酸 10mL は

$$10 \times 1.05 = 10.5 \text{ (g)}$$

になります. 酢酸の分子量は 60 なので, モル数は,

$$10.5 \div 60 = 0.175 \text{ (mol)}$$

です. 酢酸 50 mmol は

$$0.050 \times 60 = 3 \text{ (g)}$$

なので, 体積は

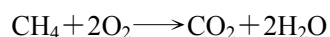
$$3 \div 1.05 = 2.86 \text{ (mL)}$$

5 章

5・1/5・2

略 (問題に挙げた参考書は非常にわかりやすいものですので, 一度ご覧ください).

5・3 メタンの燃焼反応は



ヘスの法則より

燃焼熱 = (生成物の生成熱の和) - (原料の生成熱の和)

であり, 単体 (ここでは酸素分子) の生成熱は 0 (ゼロ) なので, メタン 1 mol の燃焼熱は

$$394 + 2 \times 286 - 74 = 892 \text{ (kJ)}$$

5・4 メタン 1 mol の燃焼熱は 892 kJ であったので,

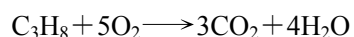
$$8910 \div 892 = 9.99$$

9.99 mol のメタンを燃焼させればよい.

1 mol の気体は標準状態で 22.4 (L) の体積をもつことから, 燃焼させるメタンの体積は

$$22.4 \times 9.99 = 223.7 \text{ (L)}$$

5・5 プロパンの燃焼反応は



であり, 5・3 と同様に, プロパン 1 mol の燃焼熱は

$$3 \times 394 + 4 \times 286 - 106 = 2220 \text{ (kJ)}$$

6 章

6・1 温度変化がないとのことですので、ボイルの法則を用います.

$$1.013 \times 10^5 \times 0.01 = (\text{圧力}) \times 0.05$$

となり, 体積が変化した後の気体の圧力は

$$2.026 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

6・2 シャルルの法則を使います.

$$\frac{1.013 \times 10^5}{273.15 + 25} = \frac{\text{圧力}}{273.15 + 37}$$

となり, 圧力は

$$1.054 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

6・3 理想気体の場合は

$$(\text{圧力}) \times 0.01 = 0.5 \times 8.314 \times (273.15 + 25)$$

$$(\text{圧力}) = 1.24 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

となります.

ファンデルワールス式に従う場合は

$$\left(P + \frac{n^2}{V^2} a \right) (V - nb) = nRT$$

に表 6-2 の値を入れて

$$\left(P + \frac{0.5^2}{0.01^2} \times 0.141 \right) (0.01 - 0.5 \times 39.2 \times 10^{-6}) = 0.5 \times 8.314 \times (273.15 + 25)$$

$$\text{求める圧力} = 1.22 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

となります. 常圧付近では, 両者がよく似た数値になることがわかっていただけたでしょうか.

6・4 まず, 酸素と窒素のモル数を求めます.

$$\text{酸素} : 8 \div 32 = 0.25 \text{ (mol)}$$

$$\text{窒素} : 50 \div 28 = 1.786 \text{ (mol)} \quad \text{※誤差を小さくするため, 桁を多めに取っています.}$$

全圧は

$$(\text{圧力}) \times 41 = (0.25 + 1.786) \times 0.082 \times (273.15 + 27)$$

$$(\text{圧力}) = 1.222 \text{ atm}$$

なので, 酸素の分圧は

$$1.222 \times \frac{0.25}{0.25 + 1.786} = 0.15 \text{ (atm)}$$

となります.

$$1 \text{ atm} = 1.013 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

なので,

$$0.15 \times 1.013 \times 10^5 = 1.520 \times 10^4 \text{ (Pa)}$$

窒素は, 全圧が 1.222 atm より

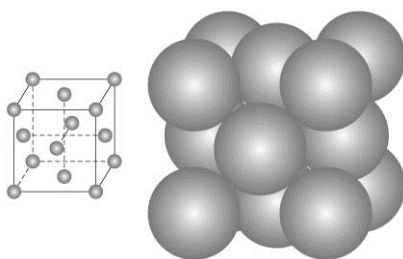
$$1.222 - 0.15 = 1.072 \text{ atm}$$

$$1.072 \times 1.013 \times 10^5 = 1.086 \times 10^5 \text{ (Pa)}$$

6・5 ビリアル方程式などが有名です. 物理化学の教科書や理化学辞典を調べてみましょう.

7 章

7・1 面心立方格子の形は, 下のようになります.



面心立方格子の立方体の 1 辺の長さは, 原子半径を r とすると対角線が $4r$ になるので,

$$\frac{4r}{\sqrt{2}} = 2\sqrt{2}r$$

となります. この中に原子が 4 個入っているので, 充填率は,

$$\frac{4 \times \frac{4}{3}\pi r^3}{(2\sqrt{2}r)^3} = \frac{\frac{16}{3}\pi}{16\sqrt{2}} = \frac{\pi}{3\sqrt{2}} = 0.74$$

となり, 74%という答えが導かれます.

7・2 テキスト本文 (p.64, 72~73) に説明がありますので, 読み返してください.

7・3 単結晶の説明はテキスト本文中 (p.68) にあります. 多結晶は多くの単結晶が集まったもので, 結晶の方向が揃っていないものです.

7・4 ブラッグの式 $2d \sin \theta = n\lambda$ より求めます.

$$2d \sin 10^\circ = 0.1$$

$$d = \frac{0.1}{2 \times 0.055527} = 0.90 \text{ (nm)}$$

8 章

$$8\cdot1 \quad (1) \quad 0.1 \times 200 \times \frac{200}{1000} = 4.0(\text{g})$$

(2) モル数は

$$0.1 \times \frac{50}{1000} = 5.0 \times 10^{-3} (\text{mol}) = 5.0 (\text{mmol})$$

質量は

$$5.0 \times 10^{-3} \times 200 = 1.0 (\text{g})$$

8・2 (1) まず, 0.5 mL の質量を求めますと

$$0.5 \times 1.05 = 0.525 (\text{g})$$

C の分子量を M とすると,

$$\frac{0.525}{M} \times \frac{1000}{100} = \frac{20}{1000}$$

$$M = 0.525 \times \frac{1000}{100} \times \frac{1000}{20} = 262.5 \approx 263$$

となります.

(2) まず, 50 mmol/L の水溶液 200 mL を作るのに必要な化合物 C の質量を求めます.

$$\frac{50}{1000} \times 262.5 \times \frac{200}{1000} = 2.625 (\text{g})$$

です. ここでは, 誤差を小さくするため分子量を 262.5 としました. 必要な体積を v とすると,

$$v \times 1.05 = 2.625$$

$$v = 2.5 (\text{mL})$$

$$8\cdot3 \quad (1) \quad 50 \times 0.12 = 6 (\text{g})$$

(2) 塩化鉄 (III) の分子量は 162.5 なので,

$$\frac{10}{1000} \times 162.5 \times \frac{20}{1000} = 0.0325 (\text{g}) = 32.5 (\text{mg})$$

(3) リン酸一水素二ナトリウムの分子量は 142 なので,

$$0.1 \times 142 \times \frac{50}{1000} = 0.71 (\text{g})$$

8・4 塩化ナトリウムの分子量は 58.5 なので,

$$\frac{6}{58.5} \times \frac{1000}{50} \approx 2.05 (\text{mol/L})$$

です. 有効数字を考えて 2 mol/L となります.

8・5 塩化ナトリウムは $\frac{10}{2000} = \frac{0.5}{100}$ に希釈します.

塩化鉄 (Ⅲ) は $\frac{100}{10000} = \frac{1}{100}$ に希釈します.

リン酸一水素二ナトリウムは $\frac{20}{100}$ に希釈します.

ここで分母はすべて 100 であることに注目してください. 分母を 100 とすると分子が必要な液量になります. したがって, 100 mL の溶液を作るには, 塩化ナトリウム 0.5 mL, 塩化鉄 (Ⅲ) 1 mL, リン酸一水素二ナトリウム 20 mL を混合して, 100 mL に液量を合わせます.

9 章



- (2) 1 mol の水素と 1 mol のヨウ素から 2 mol のヨウ化水素が生成しますから, ヨウ化水素 1.6 mol が生成した場合は, 水素とヨウ素は 0.8 mol ずつ消費されたことになります. よって, 平衡定数(K)は

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{\left(\frac{1.6}{2}\right)^2}{\frac{0.2}{2} \times \frac{0.2}{2}} = \frac{(1.6)^2}{(0.2)^2} = 64$$

- (3) ヨウ素と水素は同じモル数生成します. 生成したヨウ素のモル数を x とすると

$$K = \frac{[\text{HI}]^2}{[\text{H}_2][\text{I}_2]} = \frac{\left(\frac{2.0-2x}{2}\right)^2}{\frac{x}{2} \times \frac{x}{2}} = \frac{(2-2x)^2}{x^2} = 64$$

$$4 - 8x + 4x^2 = 64x^2$$

$$(3x+1)(5x-1) = 0$$

$$\therefore x = -\frac{1}{3}, \frac{1}{5}$$

$0 < x < 1$ なので, 生成するヨウ素は 0.2 mol です.

- 9・2 (1) $\text{pH}=2$ ですから, $[\text{H}^+] = 10^{-2} (\text{mol/L})$ です. 10 倍に希釈するので, 水素イオン濃度は $[\text{H}^+] = 10^{-3} (\text{mol/L})$ となります. よって, $\text{pH}=3$ となります.

- (2) 5 倍希釈後の水素イオン濃度は

$$[\text{H}^+] = \frac{10^{-3}}{5} = 2 \times 10^{-4} (\text{mol/L}) \text{ です.}$$

$$\log_{10} 2 = 0.301 \text{ より,}$$

$$\text{pH} = 4 - 0.301 = 3.699$$

(3) $\text{pH}=10$ より $[\text{OH}^-]=10^{-4}(\text{mol/L})$. 10 倍希釈後は $[\text{OH}^-]=10^{-5}(\text{mol/L})$ となります. よって, $\text{pOH}=5$ となり, $\text{pH} + \text{pOH} = 14$ より, $\text{pH}=9$ となります.

(4) 5 倍希釈後の $[\text{OH}^-]=2 \times 10^{-6}(\text{mol/L})$. $\text{pOH}=6 - 0.301=5.699$.
よって, $\text{pH}=14 - 5.699=8.301$

9・3 5mmol/L の水酸化ナトリウム水溶液 180mL 中の水酸イオンは

$$5 \times 0.18 = 0.90 \text{ (mmol)}$$

存在し, 5mmol/L の塩酸 120mL 中の水素イオン濃度は

$$5 \times 0.12 = 0.60 \text{ (mmol)}$$

存在します. よって,

$$0.90 - 0.60 = 0.30 \text{ (mmol)}$$

の水酸イオンが過剰になります.

$$[\text{OH}^-] = 0.30 \times \frac{1000}{300} = 1 \text{ (mmol/L)} = 1 \times 10^{-3} \text{ (mol/L)}$$

よって, $\text{pOH}=3$ となり, $\text{pH}=11$ となります.

9・4 本文 p.89 の式

$$[\text{H}^+] = \sqrt{C_a K_a}$$

$$\text{pH} = \frac{-\log C_a + \text{p}K_a}{2}$$

を用いて,

$$\text{pH} = \frac{-\log 0.1 + 4.76}{2} = \frac{1 + 4.76}{2} = 2.88$$

となります.

10 章

10・1 (1) 塩酸も水酸化ナトリウムの 1 価なので, 水酸化ナトリウムの濃度を x として,

$$x \times 10.5 = 0.05 \times 10.0$$

$$x = 0.0476$$

有効数字を 3 ケタと考えて, 0.0476 mol/L

(2) 試料である塩酸の濃度を y として

$$y \times 10.0 = 0.0476 \times 9.5$$

$$y = 0.04522$$

有効数字を 3 ケタとして, 塩酸の濃度は 0.0452 mol/L となります.

10・2 $[\text{AcOH}]=[\text{AcO}^-]$ となるから, 緩衝液の pH は $\text{p}K_a$ と等しくなり, 4.76 であることがわかり

ます。また、緩衝液 10 mL 中には AcOH と AcO^- はともに、2 mmol ずつ存在し、ここに、0.1 mol/L の水酸化ナトリウム溶液を 0.5 mL が加えられると、

$$\text{AcOH} \Rightarrow 2 - 0.1 \times 0.5 = 1.95(\text{mmol})$$

$$\text{AcO}^- \Rightarrow 2 + 0.1 \times 0.5 = 2.05(\text{mmol})$$

となり、本文中の式より導かれる $\text{pH} = \text{pK}_a - \log \frac{[\text{AcOH}]}{[\text{AcO}^-]}$ にこの数値を代入すると、

$$\text{pH} = 4.76 - \log \frac{1.95}{2.05} = 4.78$$

となり、水酸化ナトリウムの添加による pH の変動は、わずか 0.02 と小さいものであることがわかります。

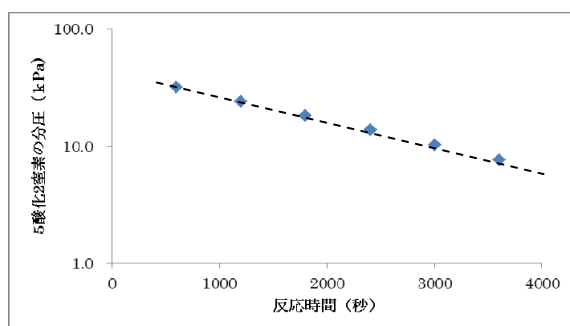
10・3 硫酸は 2 価の酸ですので、求める体積を v とすると、

$$2 \times 0.12 \times 20 = 0.15 \times v$$

$$v = 32 \text{ (mL)}$$

11 章

11・1 表の数値を図にすると次のようになります。



この図は縦軸が対数目盛で、しかも、データはほぼ直線上に並んでいますので、反応の次数は一次であることがわかります。

速度定数 k は、本文中の式 $[A] = [A]_0 e^{-kt}$ とグラフの傾きより

$$k = 5 \times 10^{-4} (\text{s}^{-1})$$

11・2 どの段階も同じような速度で進むなら、11・1 のような一次反応という結果にはなりません。一次反応という結果になったのは、最初の段階の反応が他の段階の反応に比べて非常に遅く、1 段階目の反応速度が全体の反応速度を支配したためです。第 1 段階目の反応のように、全体のなかで最も遅く、全体の反応速度を支配する段階を律速段階とよびます。

11・3 アレニウスの式

$$k = Ae^{\frac{\Delta E}{RT}}$$

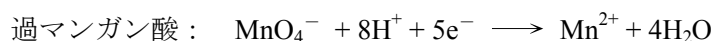
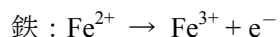
$$\ln k = \ln A - \frac{\Delta E}{RT}$$

より，温度が高くなると対数式の第2項目の分母が大きくなり，第2項目が小さくなります．このため速度定数が大きくなります．反応速度定数が大きくなると，反応速度も速くなります．

11・4 11・3と同じく第2項目が小さくなるからです．

12 章

12・1 問題の系での反応は次のようになります．



過マンガン酸カリウム 1 mol で硫酸鉄(II) 5 mol を酸化できます．

硫酸鉄(II)の濃度を N とすると，

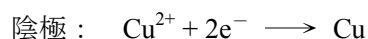
$$N \times 40.0 = 5 \times 0.20 \times 20.0$$

$$N = 0.50 \text{ (mol/L)}$$

12・2 物理化学や電気化学の教科書を調べてみてください．下記の Web サイトなども参考になります．

http://avalonbreeze.web.fc2.com/35_03_10_chemicalbattery.html

12・3 電気分解では，陰極で酸化反応，陽極で還元反応が進みます．



陰極では，このような反応により銅が析出します．

この反応には電子が 2 個関与しますので，銅の析出量は

$$\frac{63.5}{2} \times \frac{1.0 \times 65 \times 60}{96500} = 0.855(\text{g})$$

12・4 たとえば，下記の web サイトなどが参考になります．

https://www.jstage.jst.go.jp/article/jilm1951/21/11/21_11_685/_pdf

13 章

13・1 ほとんどの絵の具に顔料が使われています．例を一つ挙げますとプルシアンブルーという顔料があります．これは葛飾北斎の富嶽三十六景などにも用いられている青色の顔料でベ

ルリンブルーやターンブルーと同じものです。これらは製法が異なるため異なる名前でよばれています。

プルシアンブルーの化学形は $\text{Fe}^{\text{III}}_4[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6]_3 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ で、水に溶けません。 Fe^{III} の一部を他のイオン (Na, K など) で置換した $\text{MFe}^{\text{III}}[\text{Fe}^{\text{II}}(\text{CN})_6] \cdot n\text{H}_2\text{O}$ (M=Na, K など) は水溶性となります。

13・2 ポリ乳酸が工業的に実用化されています。ほかにはポリヒドロキシ酢酸などがあります。

14 章

14・1 高校で物理を履修した方は、物理の教科書を見てください。物理を履修していない方は、発電の原理で web を調べてみてください。たとえば、下記のページなどが参考になります。

<http://www.geocities.jp/hiroyuki0620785/ouyou/gengenri.htm>

14・2 天然の放射線については、月刊『化学』2013 年 3 月号の川瀬雅也「放射線の基礎知識 (20) 天然の原子炉?!——アフリカ大陸オクロで発見」の記事が参考になります。

<http://www.kagakudojin.co.jp/book/b108118.html>

また、以下に紹介する放射線関連書籍のどれでも関連記述があります。

【読み物】

1. 東嶋和子『放射線利用の基礎知識』(講談社ブルーバックス, 2006)
2. 近藤宗平『人は放射線になぜ弱いのか (第3版)』(講談社ブルーバックス, 1998)
3. 榎本聡明『原子力発電がよくわかる本』(オーム社, 2009)

【入門書】

4. 海老原充『現代放射化学』(化学同人, 2005)
5. 富永健, 佐野博敏『放射化学概論 (第3版)』(東京大学出版会, 2011)
6. 多田順一郎『わかりやすい放射線物理学 (改訂2版)』(オーム社, 2008)
7. 杉浦紳之『放射線生物学 (3訂版)』(通商産業研究社, 2006)
8. 柴田徳思『放射線概論 (第7版)』(通商産業研究社, 2011)
9. 佐治英郎他『新放射化学・放射性医薬品学 (改訂第3版)』(南江堂, 2011)

【専門書】

10. ショパン・リルゼンツィン・リュードベリ『放射化学』(丸善, 2005)
11. 岡島成晃ほか『原子炉物理学』(オーム社, 2012)
12. 永江知文, 永宮正治ほか『原子核物理学』(裳華房, 2000)
13. アショック・ダスほか『素粒子・原子核物理学の基礎』(共立出版, 2011)

【自然エネルギーについて】

14. 石川憲二『自然エネルギーの可能性と限界』(オーム社, 2010)