

2023 年度

理 科 問 題

(物理・化学・生物・地学)

物理：2～7 ページ	解答用紙 4 枚
化学：8～23 ページ	解答用紙 5 枚
生物：24～41 ページ	解答用紙 4 枚
地学：42～49 ページ	解答用紙 3 枚

注 意 事 項

- 1 問題冊子は、監督者が「解答始め」の指示をするまで開かないこと。
- 2 問題冊子や解答用紙に脱落のあった場合には申し出ること。
- 3 解答用紙の各ページ所定欄に、それぞれ受験番号（最後のページは、左右 2 箇所）、氏名を必ず記入すること。なお、解答用紙は上部で接着してあるので、はがさず解答すること。
- 4 解答は、すべて解答用紙の所定欄に記入すること。
- 5 解答以外のことを書いたときは、該当箇所の解答を無効とすることがある。
- 6 解答用紙の裏面は計算等に使用してもよいが、採点はしない。
- 7 現代システム科学域の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから 1 科目を選択し、解答すること。
- 8 理学部の受験者は、次により解答すること。なお、第 2・3 志望がある場合、志望する学科についても確認すること。
 - (1) 数学科・生物学科・地球学科・生物化学科を志望する者は「物理」・「化学」・「生物」・「地学」のうちから 2 科目を選択し、解答すること。
 - (2) 物理学科を志望する者（第 3 志望までを含む）は、「物理」とその他に「化学」・「生物」・「地学」のうちから 1 科目を選択し、計 2 科目を解答すること。
 - (3) 化学科を志望する者（第 3 志望までを含む）は、「物理」・「化学」の計 2 科目を解答すること。
- 9 工学部の受験者は、「物理」・「化学」の計 2 科目を解答すること。
- 10 農学部・獣医学部・医学部医学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから 2 科目を選択し、解答すること。
- 11 生活科学部食栄養学科の受験者は、「物理」・「化学」・「生物」のうちから 1 科目を選択し、解答すること。
- 12 問題冊子の余白は下書きに使用してもよい。
- 13 問題冊子及び選択しなかった科目の解答用紙は持ち帰ること。

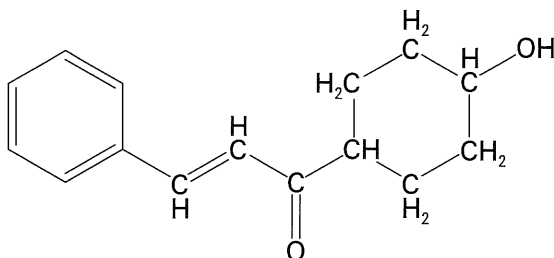
化 学

第 1 問 (33点)

次の文章を読み、(1)～(8)の問いに答えよ。必要であれば次の原子量を用いよ。

H = 1.0, C = 12.0, O = 16.0

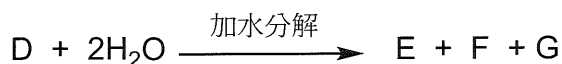
構造式は下の例にならって記せ。



五つの炭素原子からなる脂肪族炭化水素 C_5H_{12} には 3 種類の構造異性体 A, B, C が存在する。それらの水素原子一つあるいは二つをヒドロキシ基で置換した。A, B, C から生じるアルコールの構造異性体の数を下の表に示す。なお、各アルコール中の一つの炭素に複数のヒドロキシ基が結合していないものとし、鏡像異性体の数は含まれないものとする。

	A	B	C
水素原子一つをヒドロキシ基に置換した場合	3	ア	1
水素原子二つをヒドロキシ基に置換した場合	イ	ウ	1

化合物 D はベンゼン環を一つ有する。化合物 D 302 g を完全燃焼させたところ、二酸化炭素 792 g、水 198 g のみが生じた。化合物 D を加水分解したところ化合物 E, F, G が得られた。



化合物 E, F, G の構造と性質は次のとおりである.

- 化合物 E は, 炭素と水素からなるベンゼン環を一つ有する芳香族炭化水素 H を過マンガン酸カリウムで酸化すると得られる. E を加熱すると分子内で脱水がおこる.
- 化合物 F と G はいずれも五つの炭素原子からなり, 金属ナトリウムと反応して水素を発生する.
- 化合物 F には五つの炭素原子が環状につながった構造 (五員環) が一つ存在する.
- 化合物 G には三つの炭素原子が環状につながった構造 (三員環) が一つ存在する.
- 化合物 G には四つの炭素原子と結合している炭素原子が一つ存在する.
- 化合物 F と G には不斉炭素原子が存在しない.

- (1) 空欄ア～ウに当てはまる数字を答えよ.
- (2) 化合物 D の分子式を答えよ.
- (3) 化合物 D, F, G の構造式を答えよ.
- (4) 化合物 E と H の名称をそれぞれ答えよ.
- (5) 化合物 A, B, C のうち沸点が最も低いものはいずれか. 記号で答えよ.

(6) 化合物 **B** の水素原子一つをヒドロキシ基で置換したアルコールを水酸化ナトリウムの存在下、ヨウ素 I_2 と反応させたところヨードホルムと化合物 **I** が生じた。化合物 **I** の構造式を答えよ。

(7) 化合物 **B** の水素原子二つをヒドロキシ基に置換した。なお、一つの炭素に複数のヒドロキシ基が結合していないものとする。それらのうち、不斉炭素原子をもたない化合物 **J** と **K** の構造式を答えよ。

また、不斉炭素原子をもつ構造異性体 **L** から水 2 分子を分子内で脱水させると化合物 **M** が生じる。化合物 **M** は天然ゴムの熱分解で得られる。化合物 **M** の構造式を答えよ。

(8) 化合物 **C** の四つの水素原子をヒドロキシ基で置換すると化合物 **N** となる。なお、一つの炭素に複数のヒドロキシ基が結合していないものとする。化合物 **N** の結晶を加熱すると、 $188\text{ }^{\circ}\text{C}$ 付近で結晶構造が変化し、 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ で融解した。 $188\text{ }^{\circ}\text{C}$ 付近で結晶構造が変化する理由を 20 字以内で説明せよ。

(余 白)

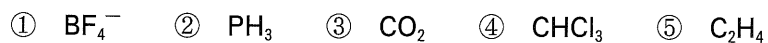
化 学

第 2 問 (33点)

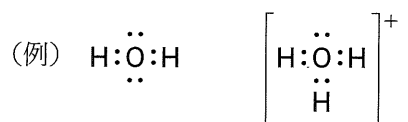
次の問 1 と問 2 に答えよ.

問 1 次の (1) と (2) の問いに答えよ.

(1) ①～⑤について, 次の (i) ～ (iii) の問いに答えよ.



(i) ①と②の電子式を例にならって答えよ.



(ii) 直線状および平面状分子を②～⑤からすべて選んで答えよ.

(iii) 分子全体として電荷の偏りがある極性分子を②～⑤からすべて選んで答えよ.

(2) 次の文章を読み、(i)～(v)の問いに答えよ．

必要であれば次の原子量を用いよ． H = 1.0, C = 12.0, O = 16.0, Ca = 40.0

(実験 1) シュウ酸カルシウム一水和物 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ とシュウ酸カルシウム二水和物 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の混合物を、室温から 1000 °C まで一定速度で加熱したところ、図 1 に示す段階的な質量の減少 (①～③) が観測された．質量の減少はいずれも気体の脱離によるものであり、%で示された数値は加熱前の質量に対する減少率を示す．

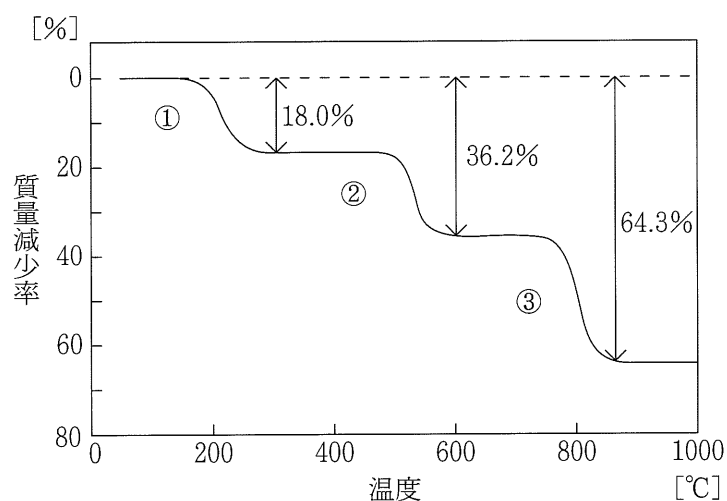


図 1 シュウ酸カルシウム水和物の加熱による質量変化

(実験 2) 実験 1 で用いたものと同じシュウ酸カルシウム水和物を 1000 °C に加熱して気体 X, Y, Z の混合物を発生させた。各気体を捕捉あるいは捕集するための装置を組み立てた (図 2)。カラム 1 では充填剤 1 を用いて気体 X のみを捕捉した。カラム 2 では充填剤 2 を用いて気体 Y のみを捕捉した。カラム外に排出される気体 Z は適当な捕集法を用いて捕集した。

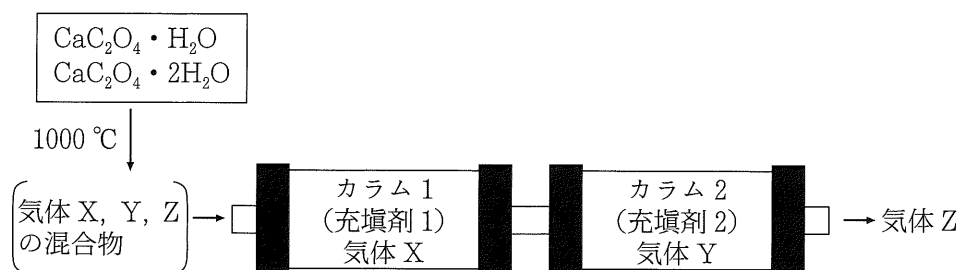


図 2 実験 2 で生じた気体の捕捉・捕集装置

- (i) 実験 1 において、①の質量減少率 (18.0%) をもとに、シュウ酸カルシウム一水和物 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ の物質質量に対するシュウ酸カルシウム二水和物 $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ の物質質量の比を有効数字二桁で答えよ。
- (ii) 実験 2 において、気体 X と Y の捕捉に用いる最も適当な充填剤 1 と 2 を、次の (ア) ~ (オ) の中から選び、それぞれ記号で答えよ。
- (ア) Na_2CO_3 (イ) NaOH (ウ) BaSO_4
 (エ) P_4O_{10} (オ) MnO_2
- (iii) 実験 2 において、気体 X と Y が充填剤 1 と 2 でそれぞれ捕捉されるときに起こる化学反応を反応式で記せ。
- (iv) 実験 2 において、気体 Z を捕集するために用いる最も適当な方法を、次の (a) ~ (c) の中から選び記号で答えよ。
- (a) 上方置換法 (b) 下方置換法 (c) 水上置換法
- (v) 金属触媒の存在下、気体 Z と水素を反応させるとメタノールが得られる。このメタノールが生じる化学反応を反応式で記せ。

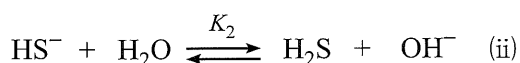
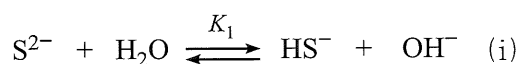
問2 次の文章を読み、(1)～(3)の問いに答えよ。

金属の硫化物は、一般に水に難溶であるが、溶液の pH が小さくなるにしたがって、その溶解度が上がる。この現象を考えてみる。

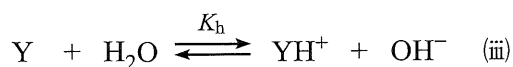
pH x の緩衝液 A 1 L に、固体の硫化カドミウム CdS を加えて、CdS の飽和溶液（溶液 B）を調製した。この実験では、次の (a)～(d) の条件を仮定する。

- (a) 溶液 B には、溶け残った CdS が常に存在する。
- (b) 溶液 B の pH と温度は、実験を通じて一定である。
- (c) 溶液 B に溶存するカドミウムイオン Cd^{2+} は、水和イオンのみとする。
- (d) 緩衝液 A には、水素イオン以外、今回の実験に影響を与えるイオンや分子は、含まれていない。

溶液 B では、固体の CdS から溶け出した硫化物イオン S^{2-} の一部が加水分解し、硫化水素イオン HS^- 、硫化水素 H_2S と式 (i)、(ii) に示す平衡状態にある。 K_1 、 K_2 [mol/L] は、それぞれの加水分解定数を示す。



水溶液中において式 (iii) の化学平衡が成り立つ場合、加水分解定数 K_h は式 (iv) のように表される。 $[\text{Y}]$ 、 $[\text{YH}^+]$ 、 $[\text{OH}^-]$ は、Y、 YH^+ 、 OH^- のモル濃度 [mol/L] である。



$$K_h = \frac{[\text{YH}^+][\text{OH}^-]}{[\text{Y}]} \quad (\text{iv})$$

溶液 B には、固体の CdS から溶け出して生成した S^{2-} 、 HS^- 、 H_2S のすべてが溶存するとし、そのモル濃度を $[S^{2-}]$ 、 $[HS^-]$ 、 $[H_2S]$ とすると、

$$K_1 = \boxed{\text{ア}}, K_2 = \boxed{\text{イ}} \text{ である.}$$

固体から緩衝液 A 1 L に溶け出した CdS の物質量を m [mol] とすると、

$$m = [S^{2-}] \times \boxed{\text{ウ}} \text{ となる.}$$

CdS の溶解度積を K_{sp} [mol^2/L^2] とすると、

$$K_{sp} = \boxed{\text{エ}} \text{ である.}$$

この式より、pH x の緩衝液 A 1 L に溶け出す CdS の物質量を求めることができる.

- (1) $\boxed{\text{ア}}$ 、 $\boxed{\text{イ}}$ に当てはまる数式を、 $[S^{2-}]$ 、 $[HS^-]$ 、 $[H_2S]$ 、 x 、 K_w から必要なものを用いて記せ。ただし、 K_w は、水のイオン積 [mol^2/L^2] である。
- (2) $\boxed{\text{ウ}}$ 、 $\boxed{\text{エ}}$ に当てはまる数式を K_1 、 K_2 、 K_w 、 m 、 x から必要なものを用いて記せ。
- (3) pH 6.0 の緩衝液 A に溶解する CdS の物質量は、同じ体積の pH 8.0 の緩衝液 A に溶解する CdS の物質量の何倍か。有効数字二桁で答えよ。必要であれば、次の値を用いよ。 $K_1 = 1.0 \text{ mol/L}$ 、 $K_2 = 1.0 \times 10^{-7} \text{ mol/L}$ 、 $K_w = 1.0 \times 10^{-14} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ 、 $K_{sp} = 2.0 \times 10^{-20} \text{ mol}^2/\text{L}^2$ 、 $\sqrt{10} = 3.16$

(余 白)

化 学

第 3 問 (34点)

次の問1と問2に答えよ。

問1 次の文章を読み、(1)～(5)の問いに答えよ。

相対質量とは、ある特定の物質の質量を基準として他の物質の質量を相対的に表したものである。質量数12の炭素原子一個の質量を基準として表した原子一個の相対質量を「原子の相対質量」という。ここで、アの数は同じであるが、イの数が異なるため、質量数の異なる原子どうしを互いに同位体という。原子を質量数も含めて表す場合は元素記号の左上に質量数を書き添える。たとえば質量数35の塩素原子は ^{35}Cl と表す。元素の原子量は自然界における同位体の存在比とその相対質量から求められた平均値であり、分子量とは分子を構成している元素の原子量の総和である。たとえば、塩素分子 Cl_2 の分子量は70.9である。一方、分子を構成している原子の質量数の総和は整数となる。^①たとえば、 ^{35}Cl からなる塩素分子 $^{35}\text{Cl}_2$ の質量数の和は70である。自然界における水素、炭素、塩素の同位体の存在比は次の表のとおりとする。

元素	水素		炭素		塩素	
同位体	^1H	^2H	^{12}C	^{13}C	^{35}Cl	^{37}Cl
存在比	99.99%	0.01%	98.9%	1.1%	75.8%	24.2%

- (1) 文章中のアとイにあてはまる最も適当な語句を記せ。
- (2) 同位体組成の異なるメタン分子 CH_4 はいくつあるか。整数で答えよ。
- (3) 下線部①について、エタン分子 C_2H_6 を構成している原子の質量数の総和が異なるものはいくつあるか。整数で答えよ。
- (4) 自然界に存在する塩素分子 Cl_2 のうち、 $^{35}\text{Cl}^{37}\text{Cl}$ は何%含まれているか。有効数字三桁で答えよ。

(5) 次の文章を読み、(i)～(iii)の問いに答えよ。

体積比が6対7のメタンとエタンの混合気体にアルゴンを加えて希釈し、さらに酸素100 Lを加えて468 Lとした。これを反応させたところ、全体積は409 Lになった。反応後に存在する物質を調べたところ、アルゴン、二酸化炭素、酸素、そして水（液体）のみであった。次に二酸化炭素を除去したところ、体積は369 Lとなった。②ただし、各気体の体積測定は標準状態（0 °C、 1.013×10^5 Pa、モル体積 22.4 L/mol）のもとで行われたものとする。また、水蒸気圧は無視できるものとし、水への気体の溶解はないものとする。

(i) はじめにあったエタンの物質量 [mol] を有効数字二桁で答えよ。

(ii) 加えたアルゴンの体積 [L] を有効数字三桁で答えよ。

(iii) 下線部②の気体中の酸素を消失させるために、プロパンを加えて燃焼させることにした。なお、燃焼後、プロパンは二酸化炭素と水に変化し、気体中には酸素とプロパンのいずれも残っていないものとする。必要となるプロパンの標準状態における体積 [L] を有効数字二桁で答えよ。

問2 次の文章を読み、(1)～(4)の問いに答えよ。

イオン結晶には、水によく溶けるものが多い。水溶液中では陽イオンと陰イオンは、それぞれいくつかの水分子に囲まれる。各イオンは水分子と引き合って安定化される。このように、水溶液中でイオンや分子が水分子と結びつく現象を水和という。

① スクロース（ショ糖） $C_{12}H_{22}O_{11}$ は非電解質であるが水によく溶ける。これは、スクロース分子中のヒドロキシ基が水分子との間で 結合を形成して水和が起こるためである。非電解質であるエタノール C_2H_5OH が水と任意の割合で混ざるのも、水分子との間で 結合を形成して水和による安定化が生じるためである。エタノールのヒドロキシ基のように水和されやすい官能基は 性を持ち、エチル基のように水和されにくい部分は 性をもつ。

イオン結晶では、陽イオンと陰イオンが静電気力（クーロン力）によるイオン結合を形成しており、中性の分子からできている結晶にくらべて、一般にかたく融点が高い。② 静電気力の大きさは、イオンの電荷の大きさに比例し、イオン間距離の2乗に反比例する。 ここでイオン間距離とは、隣接する陽イオンと陰イオンの中心間距離である。イオン結晶の安定性は、[1] 陽イオンと陰イオンはできるだけ多く接する、[2] 陽イオンどうし、陰イオンどうしは接しない、の二つの条件で決まる。陽イオンの半径がより小さいイオン結晶では、陽イオンと陰イオンの引力よりも、陰イオンどうしの反発力が大きくなって、結晶は不安定になる。その場合、配位数のより小さい別の結晶構造をとる。このように、安定な結晶構造は、③ 陽イオンと陰イオンの半径比で決まる。

(1) ～ にそれぞれ当てはまる最も適当な語句を記せ。

(2) 下線部①に関して、次の (i), (ii) の構造を解答欄の例にならって図示せよ。イオンまたは分子と水分子との間で引き合っている二つの原子を点線で結んで示せ。

(例) 一つの水分子と四つの水分子。

(i) 一つの塩化物イオンと三つの水分子。

(ii) 一つのエタノール分子と三つの水分子。

(3) 化合物群 (a) ～ (f) について、融点と結晶中のイオン間距離との関係を図 1 に示す。これら 6 種類の化合物では、結晶構造はすべて同じである。下線部②の内容に留意して、図中の (あ) ～ (か) に当てはまる化合物をそれぞれ選び記号で答えよ。

化合物群 (a) NaF (b) NaCl (c) NaBr
(d) MgO (e) CaO (f) SrO

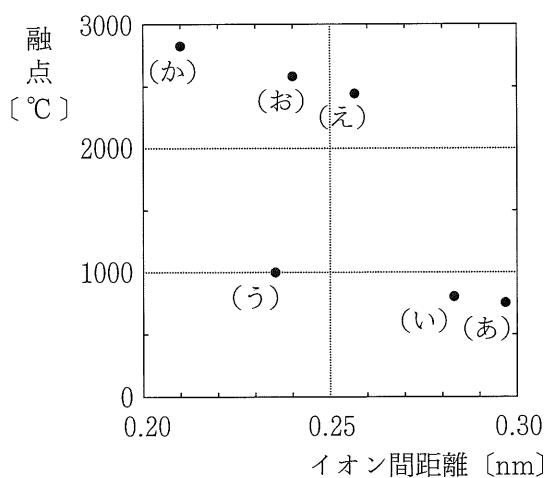


図 1 融点とイオン間距離との関係

(4) 下線部③について、塩化セシウム CsCl 型と塩化ナトリウム NaCl 型の結晶 (図 2) での陽イオンの半径 r_+ と陰イオンの半径 r_- との比 r_+/r_- を考える. $r_+ < r_-$ の場合について (i) ~ (iii) の問いに答えよ. 必要であれば次の値を用いよ. $\sqrt{2} = 1.41$, $\sqrt{3} = 1.73$

(i) CsCl 型の結晶で、半径 r_+ が CsCl (図 2a) で見られる値よりも小さくなり、ちょうど陰イオンどうしが接した場合 (図 2b) の比 r_+/r_- を X (CsCl 型) とする. X (CsCl 型) の値を答えよ.

(ii) NaCl 型の結晶で、半径 r_+ が NaCl (図 2c) で見られる値よりも小さくなり、ちょうど陰イオンどうしが接した場合 (図 2d) の比 r_+/r_- を X (NaCl 型) とする. X (NaCl 型) の値を答えよ.

(iii) 下の文中の ~ にそれぞれ当てはまる数値を記せ. また, ~ には, CsCl と NaCl のいずれかを記せ.

CsCl 型の結晶では、陽イオンと陰イオンはそれぞれ、単位格子に 個ずつ含まれ、陽イオンと陰イオンの配位数はいずれも である. NaCl 型の結晶では、単位格子中の陽イオンと陰イオンの数はそれぞれ 個ずつであり、配位数は である. これら二つの結晶構造をくらべると、半径比が X (型) $< r_+/r_- < 1$ の範囲では、配位数が の 型が安定である. 半径比が X (型) $< r_+/r_- < X$ (型) の範囲では、配位数が の 型が安定である. $r_+/r_- < X$ (型) の範囲では、 より小さい配位数をもつ別の結晶構造が安定になる.

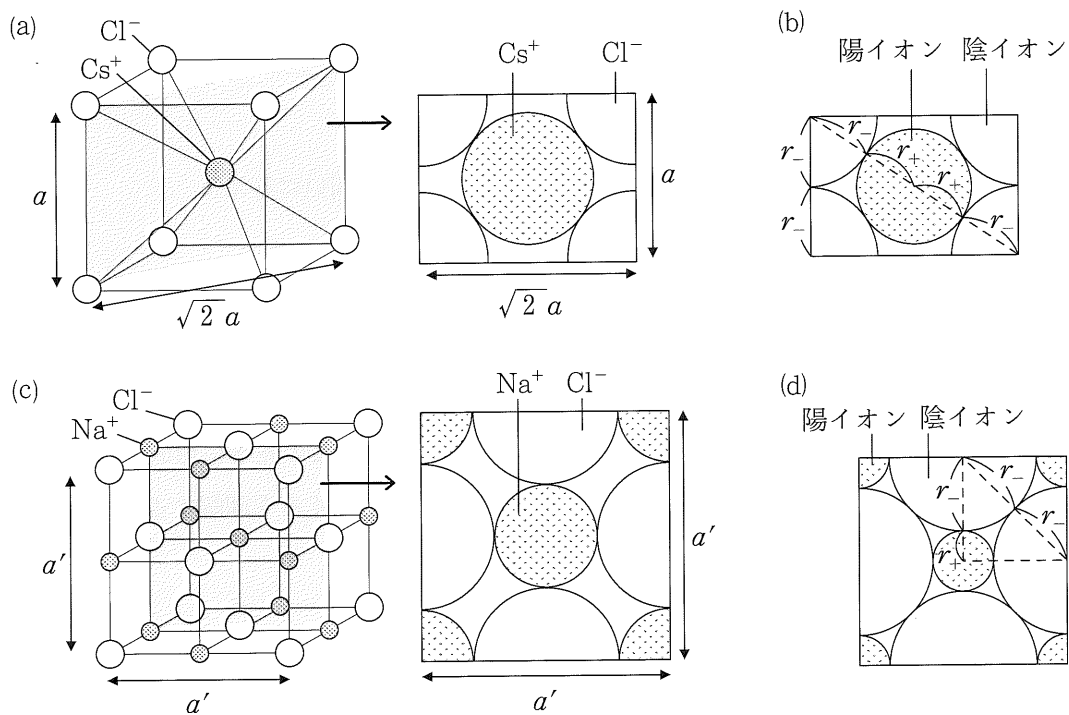


図2 (a) CsCl の単位格子 (b) CsCl 型結晶のイオン半径の関係 (c) NaCl の単位格子 (d) NaCl 型結晶のイオン半径の関係 a と a' はそれぞれ単位格子の一辺の長さを表す.