昨日の続きから。

『難解』に思える電離平衡の問題

step1　全ての化学平衡の法則を書く。

step2　全ての物質収支の式を書く。
　　指示があれば電荷バランスの式も書く。
　　(水溶液中の電荷の合計は±0)

step3　大前提の数値を代入する。すると、後は芋づるしき。

問3 1

既知

$K_{sp}=[Ag^+][Cl^-]$

既知

$[加えたAg^+]=[Ag^+]+[Ag(NH_3)_2^+]$

既知

$K=\dfrac{[Ag(NH_3)_2^+]}{[Ag^+][NH_3]^2}$ 3

既知

問4(i) 2

問4(ii)

問4(iii)

既知 4

$K_b=\dfrac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$

$[NH_4^+]=[OH^-]$

問3

1

既知

$$K_{sp}=[Ag^+][Cl^-]$$

既知

問4(ｉ)

① 成立する式は？

② 上式中の[Ag^{+}]の情報は？（問3の結果より）

③ ①および②より、[$Ag(NH_3)_2^{+}$]は？

問4(ｉ)の解答；1.0×10^{-3} mol／L

問4(ｉ)

① 成立する式は？

$$[\text{加えた}Ag^{+}]=\frac{2.0\times10^{-3}}{2}=[Ag^{+}]+[Ag(NH_3)_2{}^{+}]$$

② 上式中の$[Ag^{+}]$の情報は？（問3の結果より）

③ ①および②より、$[Ag(NH_3)_2{}^{+}]$は？

問4(ｉ)の解答；1.0×10^{-3} mol／L

問4(ｉ)

① 成立する式は？

$$[\text{加えた}Ag^{+}]=\frac{2.0\times10^{-3}}{2}=[Ag^{+}]+[Ag(NH_3)_2^{+}]$$

② 上式中の$[Ag^{+}]$の情報は？（問3の結果より）

$$[Ag^{+}]=1.69\times10^{-7}\ \text{mol/L}$$

③ ①および②より、$[Ag(NH_3)_2^{+}]$は？

問4(ｉ)の解答；1.0×10^{-3} mol／L

問4(ｉ)

① 成立する式は？

$$[\text{加えた}Ag^+]=\frac{2.0\times10^{-3}}{2}=[Ag^+]+[Ag(NH_3)_2^+]$$

② 上式中の$[Ag^+]$の情報は？（問3の結果より）

$$[Ag^+]=1.69\times10^{-7}\ \text{mol/L}$$

③ ①および②より、$[Ag(NH_3)_2^+]$は？

$$\therefore\ [Ag(NH_3)_2^+]=9.99\times10^{-4}\ \text{mol/L}$$

問4(ｉ)の解答；1.0×10^{-3} mol／L

問3

1

既知

$K_{sp}=[Ag^+][Cl^-]$

既知

問4(i)

2

$[加えたAg^+]=[Ag^+]+[Ag(NH_3)_2^+]$

既知

問4(ii)

① 成立する式は？

② 上式中の各イオン濃度の情報は？(問3、問4 (i) の結果より)

①および②より、[NH_3]は？

問4(ii)の解答；1．9×10^{-2} mol／L

問4(ii)

① 成立する式は？

$$K=1.60\times10^{7}=\frac{[Ag(NH_3)_2^{+}]}{[Ag^{+}][NH_3]^2}$$

② 上式中の各イオン濃度の情報は？(問3、問4 (i) の結果より)

①および②より、$[NH_3]$は？

問4(ii)の解答；1.9×10^{-2} mol／L

問4(ii)

① 成立する式は？

$$K=1.60\times10^{7}=\frac{[Ag(NH_3)_2^{+}]}{[Ag^{+}][NH_3]^2}$$

② 上式中の各イオン濃度の情報は？（問3、問4（ i ）の結果より）

$[Ag^{+}]=1.69\times10^{-7}$ mol／L

$[Ag(NH_3)_2^{+}]=9.99\times10^{-4}\fallingdotseq1.0\times10^{-3}$ mol／L

①および②より、$[NH_3]$は？

問4(ii)の解答；1.9×10^{-2} mol／L

問4(ii)

① 成立する式は？

$$K=1.60\times10^{7}=\frac{[Ag(NH_3)_2^{+}]}{[Ag^{+}][NH_3]^2}$$

② 上式中の各イオン濃度の情報は？(問3、問4 (i) の結果より)

$$[Ag^{+}]=1.69\times10^{-7}\ \ mol/L$$

$$[Ag(NH_3)_2^{+}]=9.99\times10^{-4}\fallingdotseq1.0\times10^{-3}\ \ mol/L$$

①および②より、$[NH_3]$は？

$$[NH_3]=1.92\times10^{-2}\ \ mol/L$$

問4(ii)の解答；1.9×10^{-2} mol／L

問3 1

既知

$K_{sp}=[Ag^+][Cl^-]$

既知

2 問4(i)

$[\text{加えたAg}^+]=[Ag^+]+[Ag(NH_3)_2^+]$

既知

$K=\dfrac{[Ag(NH_3)_2^+]}{[Ag^+][NH_3]^2}$ 3

問4(ii)

既知

問4(iii)

① 成立する式は？

② 上式中の各イオン濃度の情報は？(問4 (ii) の結果より)

①および②より、[NH_4^+]は？

問4(iii)の解答；6．0×10^{-4} mol／L

問4(iii)

① 成立する式は？

$$K_b = 1.88\times10^{-5} = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

② 上式中の各イオン濃度の情報は？(問4 (ii) の結果より)

①および②より、$[NH_4^+]$は？

問4(iii)の解答；6.0×10^{-4} mol／L

問4(iii)

① 成立する式は？

$$K_b = 1.88\times10^{-5} = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

② 上式中の各イオン濃度の情報は？（問4（ii）の結果より）

$[NH_3] = 1.92\times10^{-2}$ mol／L

水の電離を無視すれば、$[NH_4^+]=[OH^-]$

①および②より、$[NH_4^+]$は？

問4(iii)の解答；6.0×10^{-4} mol／L

問4(iii)

① 成立する式は？

$$K_b = 1.88\times10^{-5} = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

② 上式中の各イオン濃度の情報は？(問4 (ii) の結果より)

$$[NH_3] = 1.92\times10^{-2} \quad mol/L$$

水の電離を無視すれば、$[NH_4^+]=[OH^-]$

①および②より、$[NH_4^+]$は？

$$[NH_4^+] = 6.0\times10^{-4} \ mol/L$$

問4(iii)の解答；6.0×10^{-4} mol／L

問4(iii)

① 成立する式は？

$$K_b = 1.88\times10^{-5} = \frac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$$

② 上式中の各イオン濃度の情報は？（問4（ii）の結果より）

$$[NH_3] = 1.92\times10^{-2} \quad mol/L$$

水の電離を無視すれば、$[NH_4^+]=[OH^-]$

①および②より、$[NH_4^+]$は？

$$[NH_4^+] = 6.0\times10^{-4} \quad mol/L$$

ここで、$[OH^-]=6.0\times10^{-4}$ mol／L であるから、

水の電離が無視できることが検証された。

問4(iii)の解答；6.0×10^{-4} mol／L

$$[NH_4^+] = \sqrt{K_b[NH_3]}$$

問3 1

既知

$K_{sp}=[Ag^+][Cl^-]$

既知

$[加えたAg^+]=[Ag^+]+[Ag(NH_3)_2^+]$

既知

$K=\dfrac{[Ag(NH_3)_2^+]}{[Ag^+][NH_3]^2}$ 3

既知

問4(i) 2

問4(ii)

問4(iii)

既知 4

$K_b=\dfrac{[NH_4^+][OH^-]}{[NH_3]}$

$[NH_4^+]=[OH^-]$

問5

① 溶解したNH_3から派生したすべての物質の濃度は？（以上の結果より）

② 求める数値は？（体積が1Lであるから、濃度＝物質量）

問5の解答；2.2×10^{-2} mol

問5

① 溶解したNH_3から派生したすべての物質の濃度は？（以上の結果より）

$[NH_3]=1.92\times10^{-2}$ mol／L

$[NH_4^+]=6.0\times10^{-4}$ mol／L

$[Ag(NH_3)_2^+]=9.99\times10^{-4}\fallingdotseq1.0\times10^{-3}$ mol／L

② 求める数値は？（体積が1Lであるから、濃度＝物質量）

問5の解答；2.2×10^{-2} mol

問5

① 溶解したNH_3から派生したすべての物質の濃度は？（以上の結果より）

$[NH_3]=1.92\times10^{-2}$ mol／L

$[NH_4^+]=6.0\times10^{-4}$ mol／L

$[Ag(NH_3)_2^+]=9.99\times10^{-4}\fallingdotseq1.0\times10^{-3}$ mol／L

② 求める数値は？（体積が1Lであるから、濃度＝物質量）

$1.92\times10^{-2}+6.0\times10^{-4}+2\times1.0\times10^{-3}$

$=2.18\times10^{-2}$ mol

問5の解答；2.2×10^{-2} mol

イオン結晶の融点

3－1　イオン結晶

問1【解答】 $Mg^{2+}O^{2-}$

イオン結合の強さ（静電気力の大きさ）って？

イオン結合性物質の融点は，静電気力が大きいほど高い！

① 両イオンのもつ電荷の積の絶対値が大きいほど［　　］。

② 両イオン間の距離が近いほど［　　］。

参考　融点　NsaCl；800℃、KCl；776℃、MgO；2852℃、CaO；2613℃

3－1　イオン結晶

問1【解答】 $Mg^{2+}O^{2-}$

イオン結合の強さ（静電気力の大きさ）って？

イオン結合性物質の融点は，静電気力が大きいほど高い！

① 両イオンのもつ電荷の積の絶対値が大きいほど［強くなる］。

② 両イオン間の距離が近いほど［　　］。

参考　融点　NsaCl；800℃、KCl；776℃、MgO；2852℃、CaO；2613℃

3－1　イオン結晶

問1【解答】 $Mg^{2+}O^{2-}$

イオン結合の強さ（静電気力の大きさ）って？

イオン結合性物質の融点は，静電気力が大きいほど高い！

①　両イオンのもつ電荷の積の絶対値が大きいほど［強くなる］。

②　両イオン間の距離が近いほど［強くなる］。

参考　融点　NsaCl；800℃、KCl；776℃、MgO；2852℃、CaO；2613℃

3－1　イオン結晶

問1【解答】 $Mg^{2+}O^{2-}$

イオン結合の強さ（静電気力の大きさ）って？

イオン結合性物質の融点は，静電気力が大きいほど高い！

①　両イオンのもつ電荷の積の絶対値が大きいほど［　強くなる　］。

②　両イオン間の距離が近いほど［　強くなる　］。

参考　融点　NaCl；800℃、KCl；776℃、MgO；2852℃、CaO；2613℃

3－1　イオン結晶

問1【解答】 $Mg^{2+}O^{2-}$

イオン結合の強さ（静電気力の大きさ）って？

イオン結合性物質の融点は，静電気力が大きいほど高い！

① 両イオンのもつ電荷の積の絶対値が大きいほど［強くなる］。

② 両イオン間の距離が近いほど［強くなる］。

参考　融点　NaCl；800℃、KCl；776℃、MgO；2852℃、CaO；2613℃

イオン結晶の融点

NaCl　　KCl　　MgO　　CaO

イオン結晶の融点

NaCl	KCl	MgO	CaO

イオン結晶の融点

NaCl	KCl	MgO	CaO
$Na^{+}Cl^{-}$	$K^{+}Cl^{-}$	$Mg^{2+}O^{2-}$	$Ca^{2+}O^{2-}$

イオン結晶の融点

NaCl	KCl	MgO	CaO
$Na^{+}Cl^{-}$	$K^{+}Cl^{-}$	$Mg^{2+}O^{2-}$	$Ca^{2+}O^{2-}$
1価のイオンどうし	1価のイオンどうし		

イオン結晶の融点

NaCl	KCl	MgO	CaO
$Na^{+}Cl^{-}$	$K^{+}Cl^{-}$	$Mg^{2+}O^{2-}$	$Ca^{2+}O^{2-}$
1価のイオンどうし	1価のイオンどうし	2価のイオンどうし	2価のイオンどうし

イオン結晶の融点

NaCl	KCl	MgO	CaO
Na^+Cl^-	K^+Cl^-	$Mg^{2+}O^{2-}$	$Ca^{2+}O^{2-}$
1価のイオンどうし	1価のイオンどうし	2価のイオンどうし	2価のイオンどうし

⇩

NaCl　KCl ≪ MgO　CaO

イオン結晶の融点

NaCl	KCl	MgO	CaO
Na^+Cl^-	K^+Cl^-	$Mg^{2+}O^{2-}$	$Ca^{2+}O^{2-}$
1価のイオンどうし	1価のイオンどうし	2価のイオンどうし	2価のイオンどうし

⇩

NaCl　KCl ≪ MgO　CaO

イオン半径：$Na^+ < K^+$

イオン半径：$Mg^{2+} < Ca^{2+}$

イオン結晶の融点

NaCl　KCl　MgO　CaO

Na^+Cl^-　K^+Cl^-　$Mg^{2+}O^{2-}$　$Ca^{2+}O^{2-}$

1価のイオンどうし　1価のイオンどうし　2価のイオンどうし　2価のイオンどうし

NaCl　KCl ≪ MgO　CaO

イオン半径：$Na^+ < K^+$　イオン半径：$Mg^{2+} < Ca^{2+}$

KCl ＜ NaCl ≪ CaO ＜ MgO

イオン結晶の融点

NaCl　KCl　MgO　CaO

Na^+Cl^-　K^+Cl^-　$Mg^{2+}O^{2-}$　$Ca^{2+}O^{2-}$

1価のイオンどうし　1価のイオンどうし　2価のイオンどうし　2価のイオンどうし

NaCl　KCl ≪ MgO　CaO

イオン半径：$Na^+ < K^+$　イオン半径：$Mg^{2+} < Ca^{2+}$

KCl ＜ NaCl ≪ CaO ＜ MgO

770℃　801℃　2572℃　2826℃

イオン結晶の融点

NaCl　KCl　MgO　CaO

Na^+Cl^-　K^+Cl^-　$Mg^{2+}O^{2-}$　$Ca^{2+}O^{2-}$

1価のイオンどうし　1価のイオンどうし　2価のイオンどうし　2価のイオンどうし

NaCl　KCl ≪ MgO　CaO

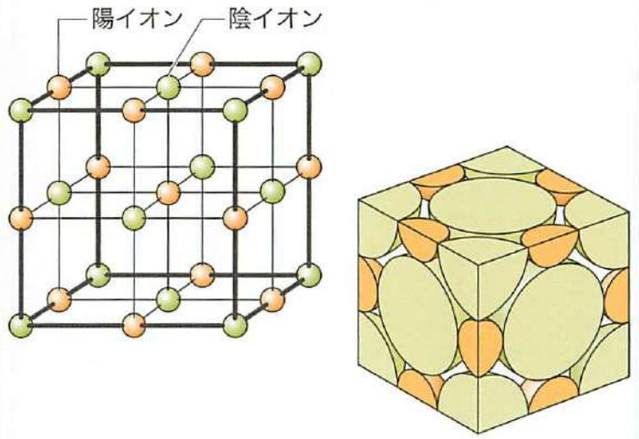
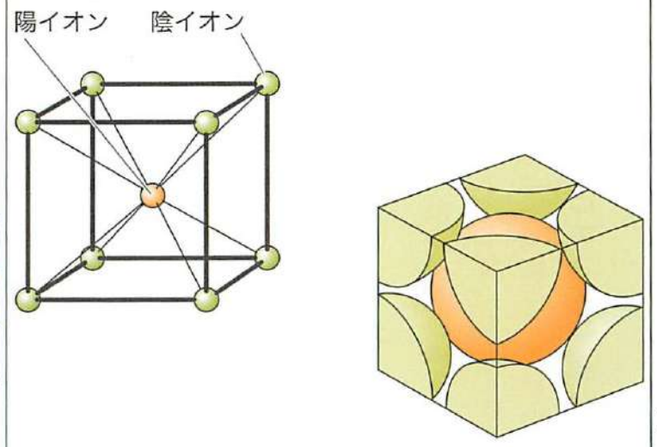
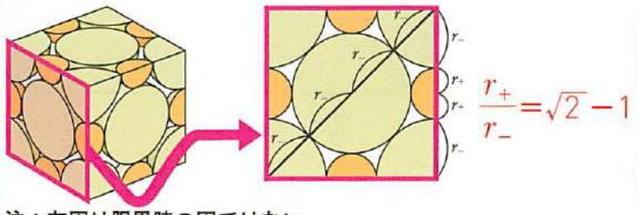
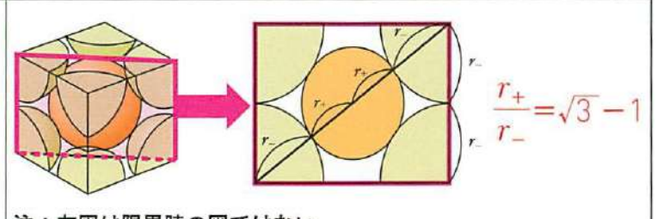
イオン半径：$Na^+ < K^+$　イオン半径：$Mg^{2+} < Ca^{2+}$

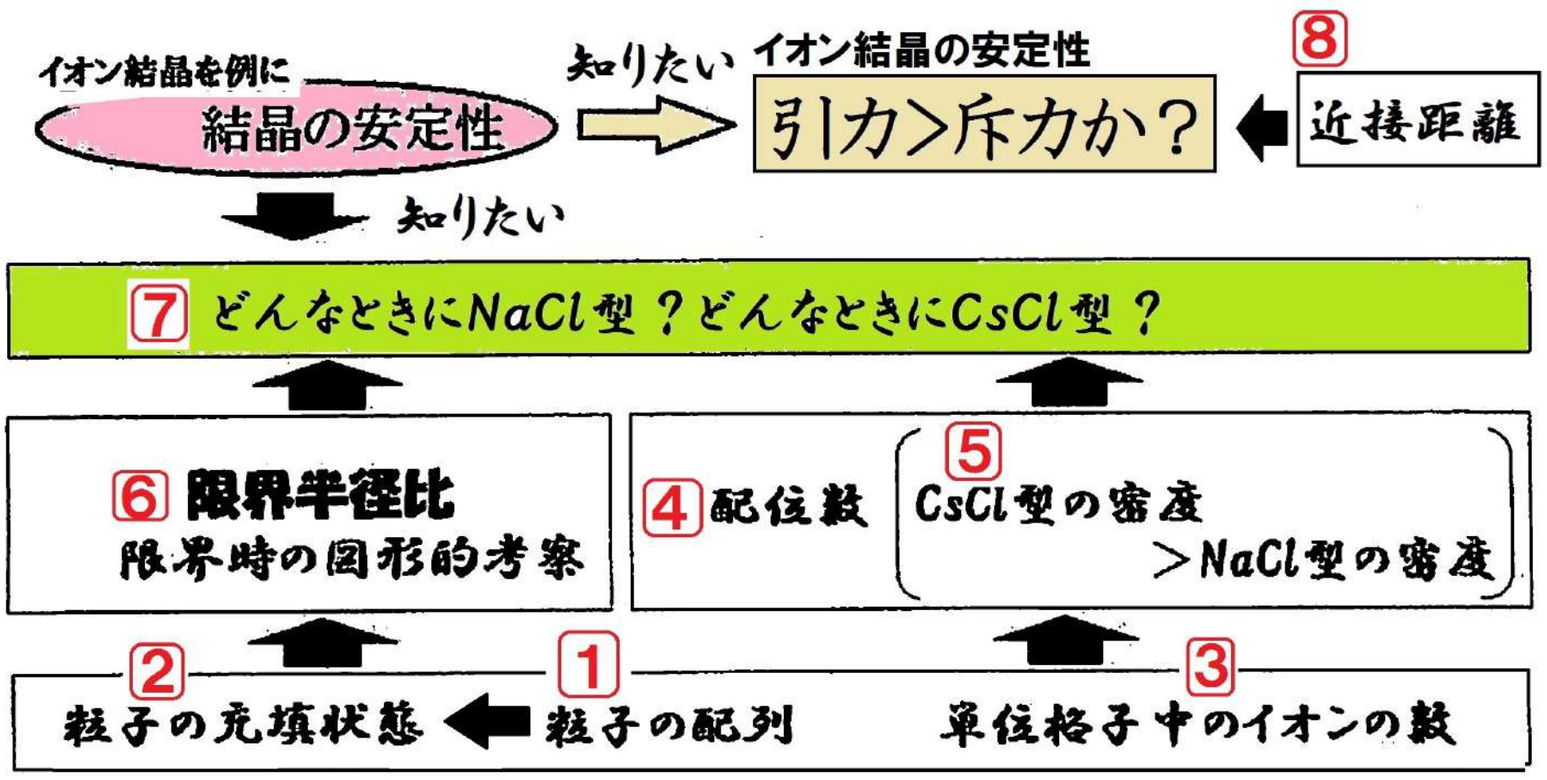
KCl ＜ NaCl ≪ CaO ＜ MgO

きちんと説明できるようにしておこう！！

NaCl型(CsCl型)イオン結晶のあれこれ

1 常識的

	塩化ナトリウム型（NaCl 型）	塩化セシウム型（CsCl 型）
単位格子中のイオンの配置と剛体球モデル		
単位格子中のイオンの個数	陽イオン：4 個分 陰イオン：4 個分	陽イオン：1 個分 陰イオン：1 個分
配位数	6	8
限界半径比	 注：左図は限界時の図ではない。	 注：左図は限界時の図ではない。


イオン結晶を例に
結晶の安定性
知りたい
イオン結晶の安定性
引力>斥力か？
8
近接距離
知りたい
7 どんなときにNaCl型？どんなときにCsCl型？
6 限界半径比
限界時の図形的考察
4 配位数
5
CsCl型の密度
>NaCl型の密度
2
粒子の充填状態
1
粒子の配列
3
単位格子中のイオンの数

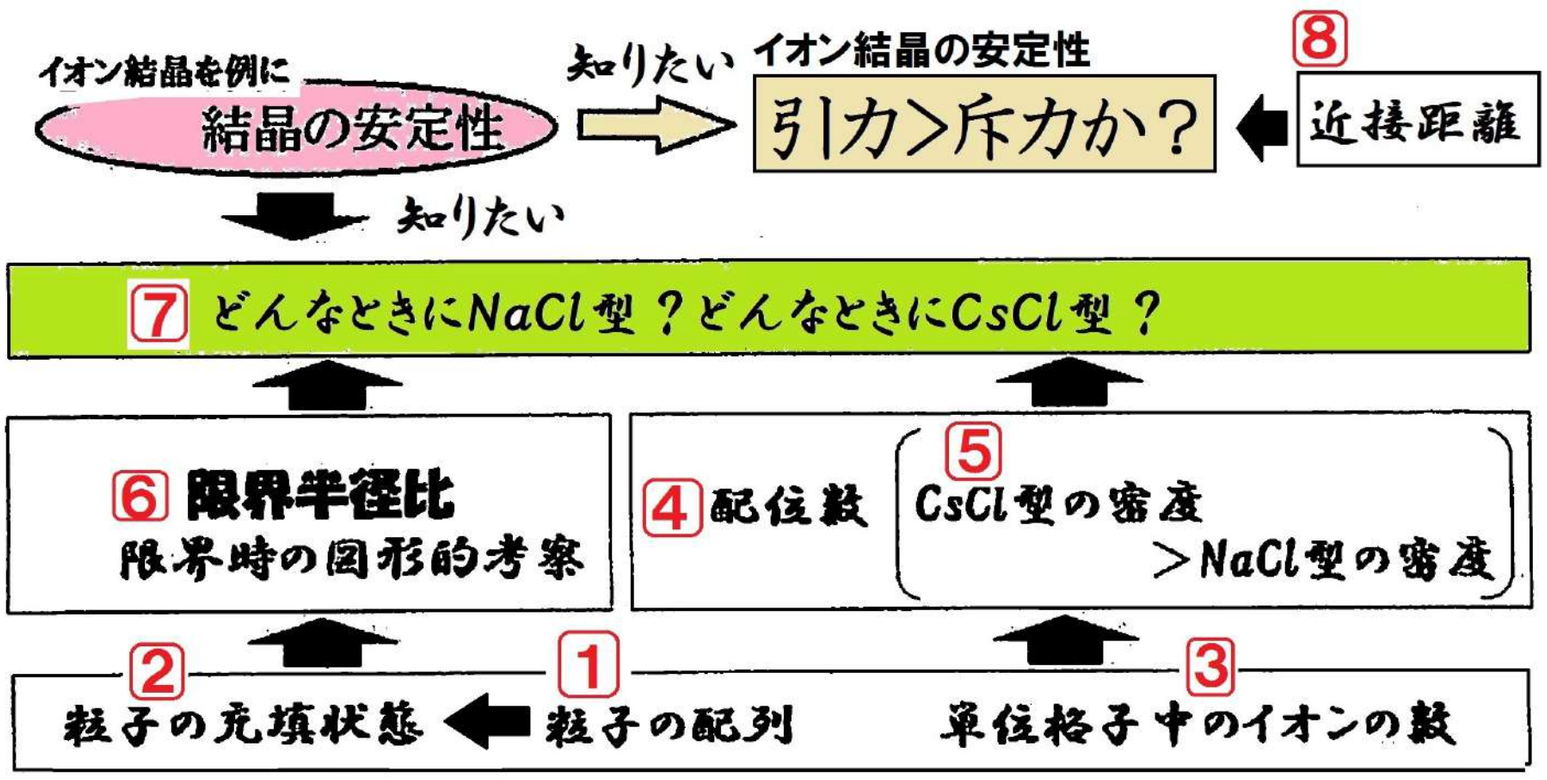
2 発展的　成立条件

イオン半径の比と配位数から結晶の型を予想すると？

イオン半径の比（r_+/r_-）の範囲	予想される結晶の型（配位数）
0.225 以上～ 0.414 未満	閃亜鉛鉱 ZnS 型（4）
0.414 以上～ 0.732 未満	塩化ナトリウム NaCl 型（6）
0.732 以上～ 1 未満	塩化セシウム CsCl 型（8）

ただし，この関係にあてはまらないイオン結晶もある。

イオン半径の比が大きいほど，配位数が大きい結晶の型をとる！


イオン結晶を例に
結晶の安定性
知りたい
イオン結晶の安定性
引力>斥力か？
8
近接距離
知りたい
7 どんなときにNaCl型？どんなときにCsCl型？
6 限界半径比
限界時の図形的考察
4 配位数
5
CsCl型の密度
>NaCl型の密度
2
粒子の充填状態
1
粒子の配列
3
単位格子中のイオンの数

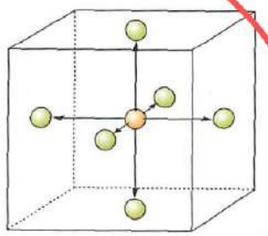
イオン結晶の安定性について考えてみよう

参考資料

最も近いイオンは？

NaCl 型のイオン結晶では，1 つのイオンに最も近いイオンは，距離 a にある，6 個の，反対符号のイオンである。

ただし，$a=\dfrac{\text{単位格子の一辺の長さ } l}{2}$

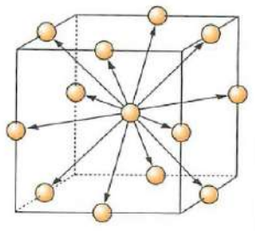


第 1 近接距離は，異符号間の距離で，$\dfrac{1}{2}l$ である！

2 番目に近いイオンは？

NaCl 型のイオン結晶では，1 つのイオンに 2 番目に近いイオンは，距離 $\sqrt{2}\,a$ にある，12 個の，同符号のイオンである。

ただし，$a=\dfrac{\text{単位格子の一辺の長さ } l}{2}$

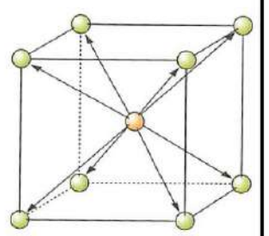


第 2 近接距離は，同符号間の距離で，$\dfrac{\sqrt{2}}{2}l$ である！

3 番目に近いイオンは？

NaCl 型のイオン結晶では，1 つのイオンに 3 番目に近いイオンは，距離 $\sqrt{3}\,a$ にある，8 個の，反対符号のイオンである。

ただし，$a=\dfrac{\text{単位格子の一辺の長さ } l}{2}$



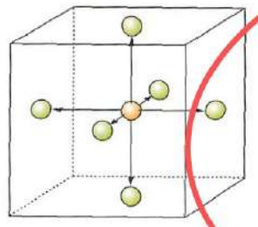
第 3 近接距離は，異符号間の距離で，$\dfrac{\sqrt{3}}{2}l$ である！

イオン結晶の安定性について考えてみよう

参考資料

最も近いイオンは？

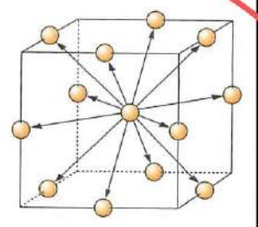
NaCl 型のイオン結晶では，1 つのイオンに最も近いイオンは，距離 a にある，6 個の，反対符号のイオンである。
ただし，$a=\dfrac{\text{単位格子の一辺の長さ } l}{2}$



第 1 近接距離は，異符号間の距離で，$\dfrac{1}{2}l$ である！

2 番目に近いイオンは？

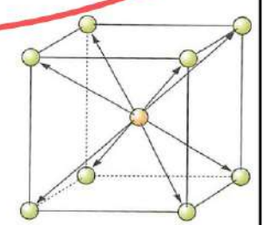
NaCl 型のイオン結晶では，1 つのイオンに 2 番目に近いイオンは，距離 $\sqrt{2}\,a$ にある，12 個の，同符号のイオンである。
ただし，$a=\dfrac{\text{単位格子の一辺の長さ } l}{2}$



第 2 近接距離は，同符号間の距離で，$\dfrac{\sqrt{2}}{2}l$ である！

3 番目に近いイオンは？

NaCl 型のイオン結晶では，1 つのイオンに 3 番目に近いイオンは，距離 $\sqrt{3}\,a$ にある，8 個の，反対符号のイオンである。
ただし，$a=\dfrac{\text{単位格子の一辺の長さ } l}{2}$



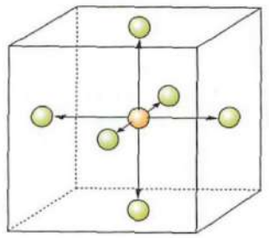
第 3 近接距離は，異符号間の距離で，$\dfrac{\sqrt{3}}{2}l$ である！

イオン結晶の安定性について考えてみよう

参考資料

最も近いイオンは？

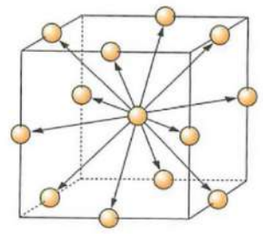
NaCl 型のイオン結晶では，1 つのイオンに最も近いイオンは，距離 a にある，6 個の，反対符号のイオンである。
ただし，$a=\dfrac{\text{単位格子の一辺の長さ } l}{2}$



第 1 近接距離は，異符号間の距離で，$\dfrac{1}{2}l$ である！

2 番目に近いイオンは？

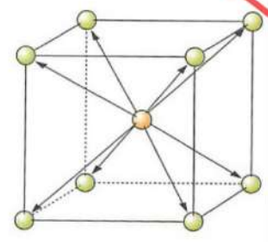
NaCl 型のイオン結晶では，1 つのイオンに 2 番目に近いイオンは，距離 $\sqrt{2}\,a$ にある，12 個の，同符号のイオンである。
ただし，$a=\dfrac{\text{単位格子の一辺の長さ } l}{2}$



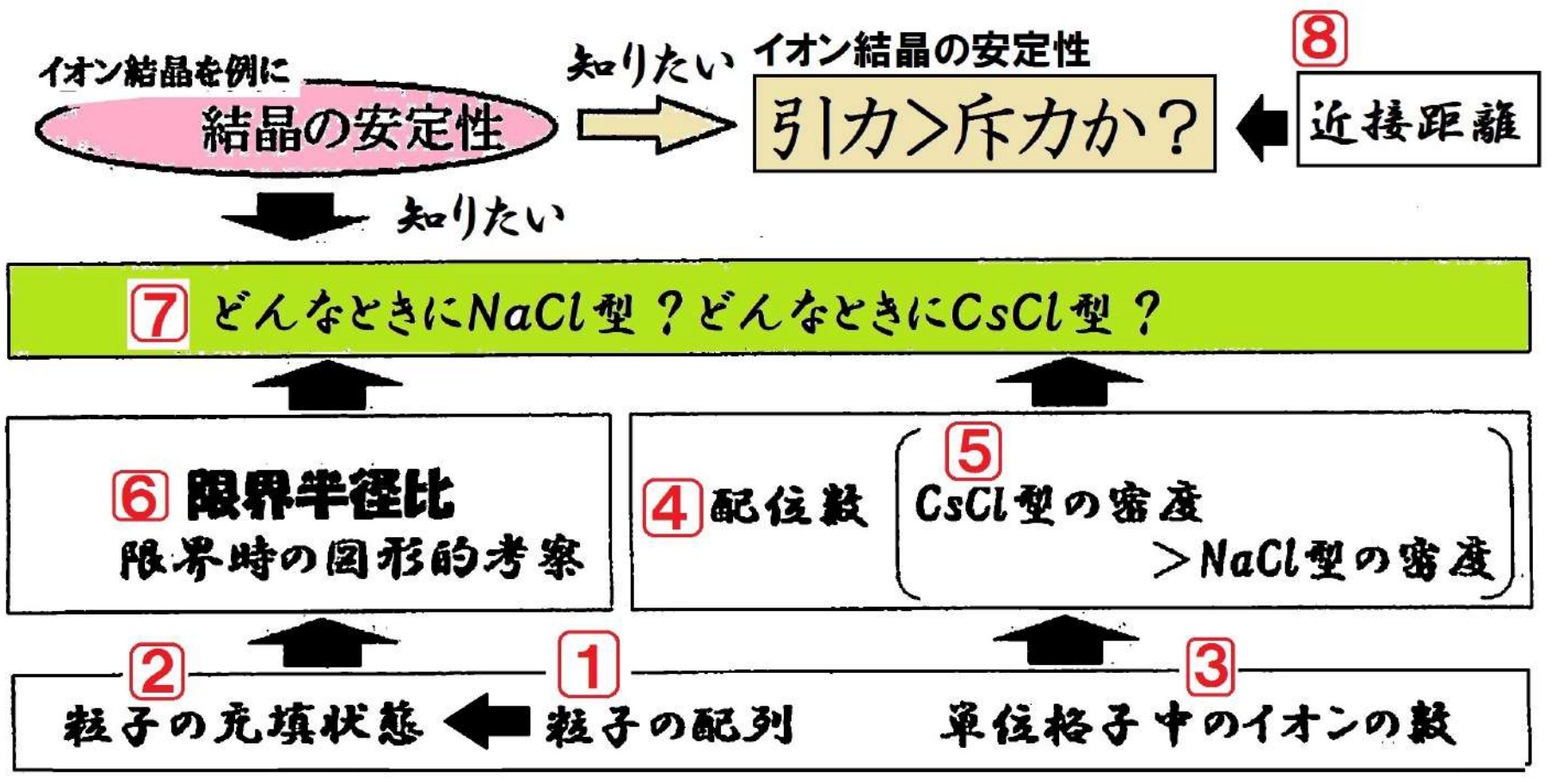
第 2 近接距離は，同符号間の距離で，$\dfrac{\sqrt{2}}{2}l$ である！

3 番目に近いイオンは？

NaCl 型のイオン結晶では，1 つのイオンに 3 番目に近いイオンは，距離 $\sqrt{3}\,a$ にある，8 個の，反対符号のイオンである。
ただし，$a=\dfrac{\text{単位格子の一辺の長さ } l}{2}$



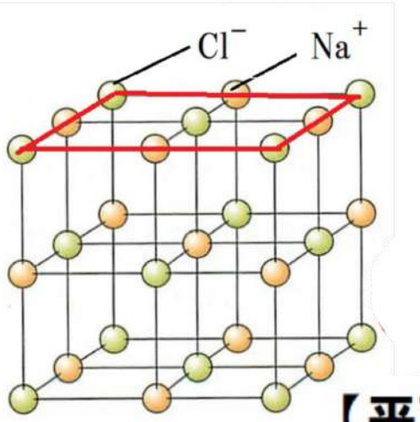
第 3 近接距離は，異符号間の距離で，$\dfrac{\sqrt{3}}{2}l$ である！


イオン結晶を例に
結晶の安定性
知りたい
イオン結晶の安定性
引力>斥力か？
8
近接距離
知りたい
7 どんなときにNaCl型？どんなときにCsCl型？
6 限界半径比
限界時の図形的考察
4 配位数
5
CsCl型の密度
>NaCl型の密度
2
粒子の充填状態
1
粒子の配列
3
単位格子中のイオンの数

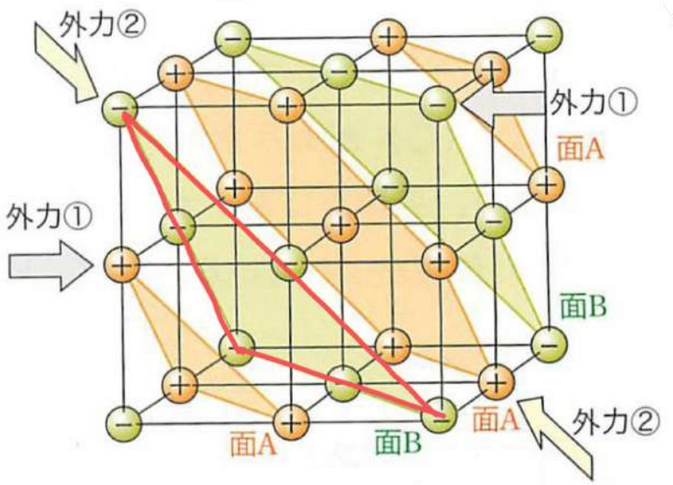
割れ易い面について考えてみよう。

参考資料

【平面abc】



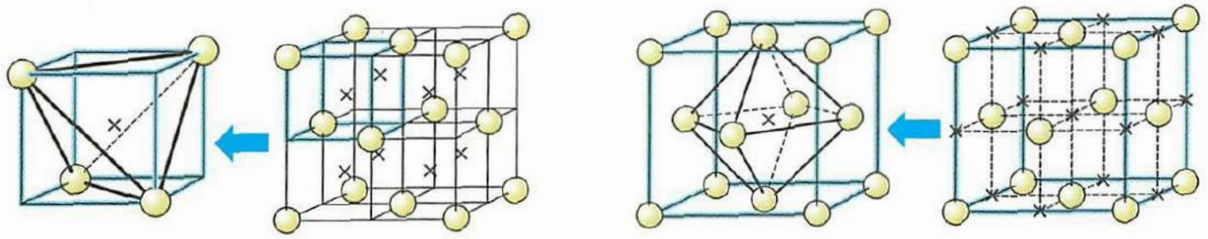
【平面abd】



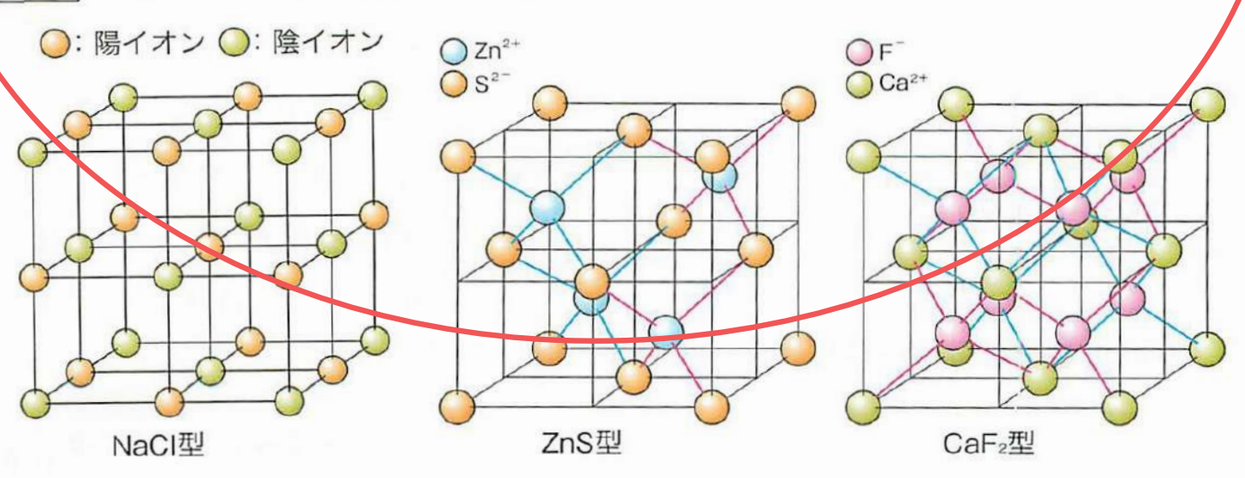
3 最近的

面心立方格子の隙間

参考　面心立方格子には，［　　］と呼ばれる4個の原子に囲まれた隙間（下左側の2つの図中の×）と［　　］と呼ばれる6個の原子に囲まれた隙間（下右側の2つの図中の×）があります。

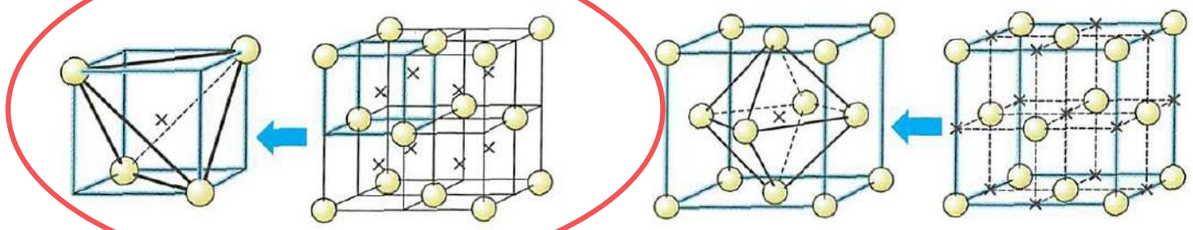


参考　以下のイオン結晶は、その配置を、上記の隙間を用いて説明できます。

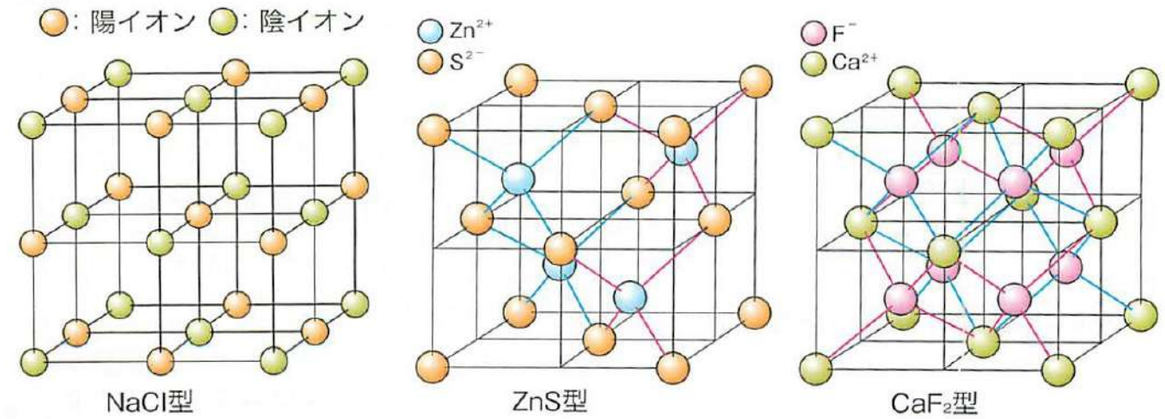


面心立方格子の隙間

参考　面心立方格子には、［　正四面体隙間　］と呼ばれる4個の原子に囲まれた隙間（下左側の2つの図中の×）と［　　］と呼ばれる6個の原子に囲まれた隙間（下右側の2つの図中の×）があります。

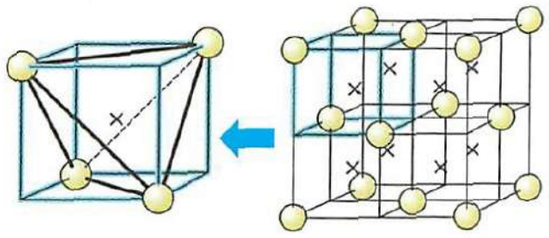


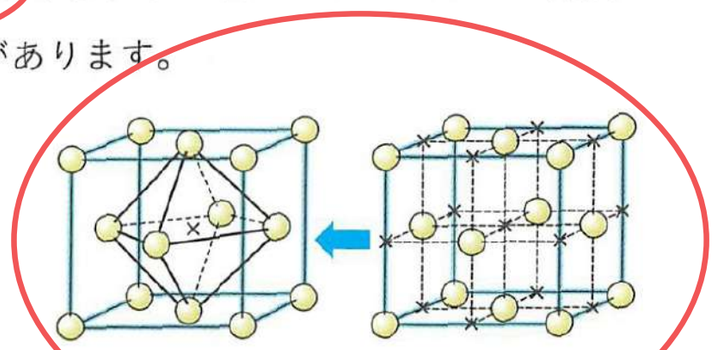
参考　以下のイオン結晶は、その配置を、上記の隙間を用いて説明できます。



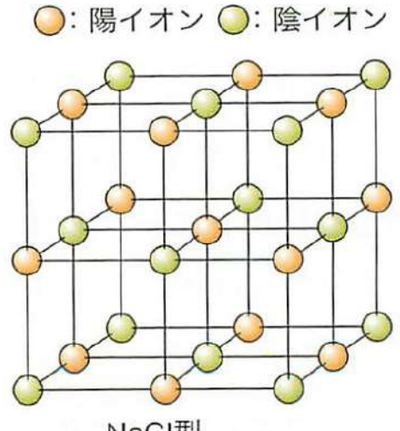
面心立方格子の隙間

参考　面心立方格子には，正四面体隙間 と呼ばれる4個の原子に囲まれた隙間（下左側の2つの図中の×）と 正八面体隙間 と呼ばれる6個の原子に囲まれた隙間（下右側の2つの図中の×）があります。

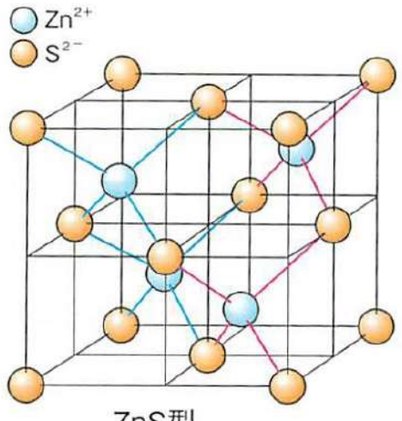




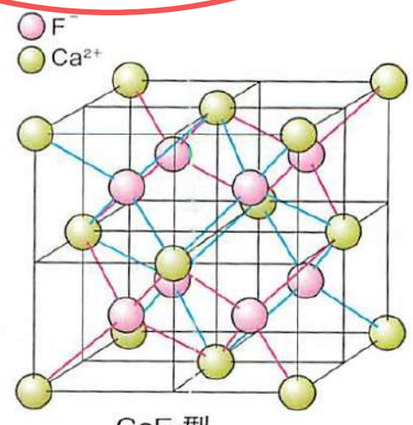
参考　以下のイオン結晶は、その配置を、上記の隙間を用いて説明できます。



NaCl型



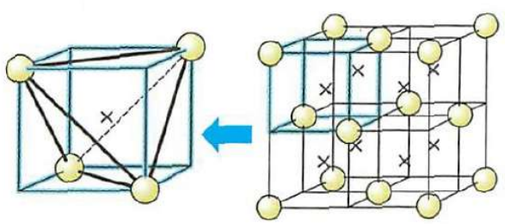
ZnS型

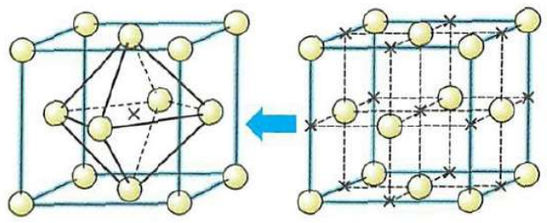


CaF_2型

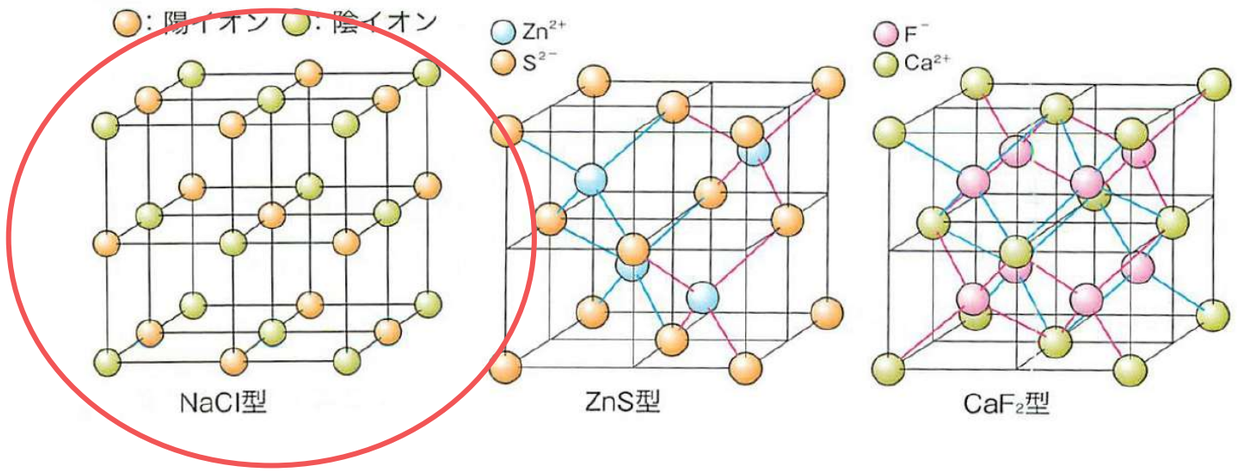
面心立方格子の隙間

参考　面心立方格子には，**正四面体隙間**と呼ばれる4個の原子に囲まれた隙間（下左側の2つの図中の×）と**正八面体隙間**と呼ばれる6個の原子に囲まれた隙間（下右側の2つの図中の×）があります。



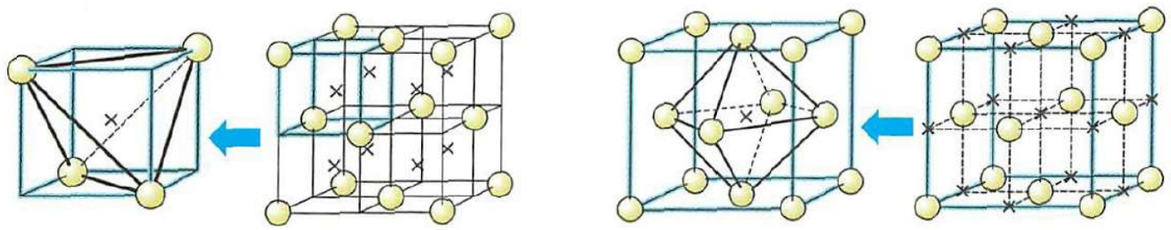


参考　以下のイオン結晶は、その配置を、上記の隙間を用いて説明できます。

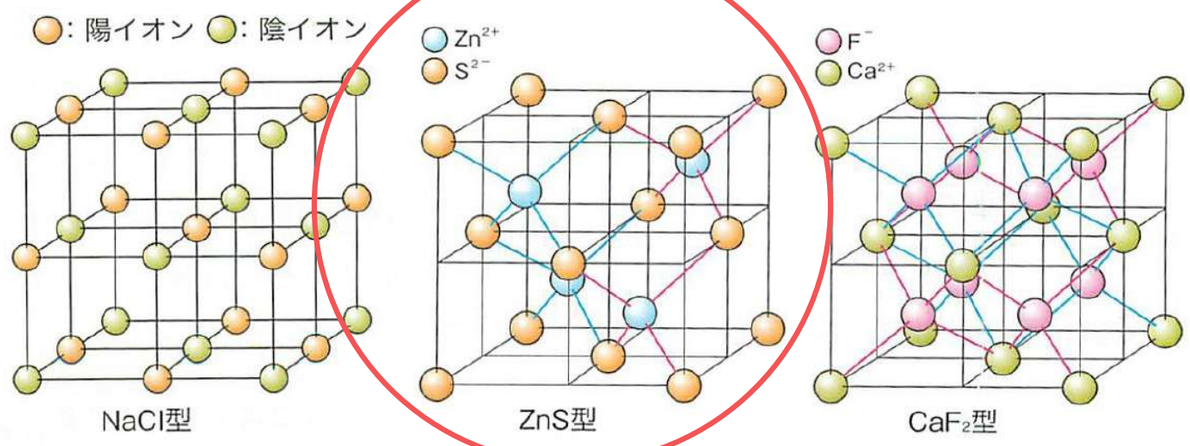


面心立方格子の隙間

参考　面心立方格子には，［　正四面体隙間　］と呼ばれる4個の原子に囲まれた隙間（下左側の2つの図中の×）と［　正八面体隙間　］と呼ばれる6個の原子に囲まれた隙間（下右側の2つの図中の×）があります。

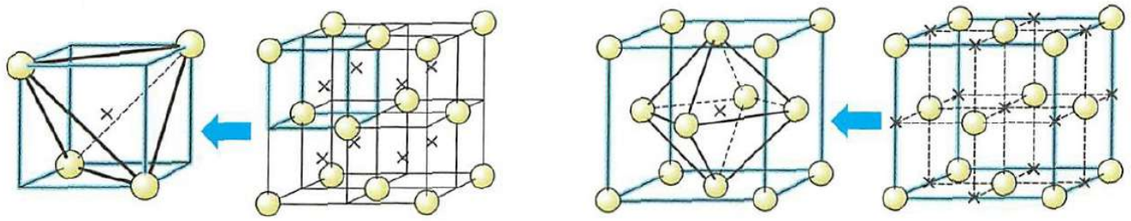


参考　以下のイオン結晶は、その配置を、上記の隙間を用いて説明できます。

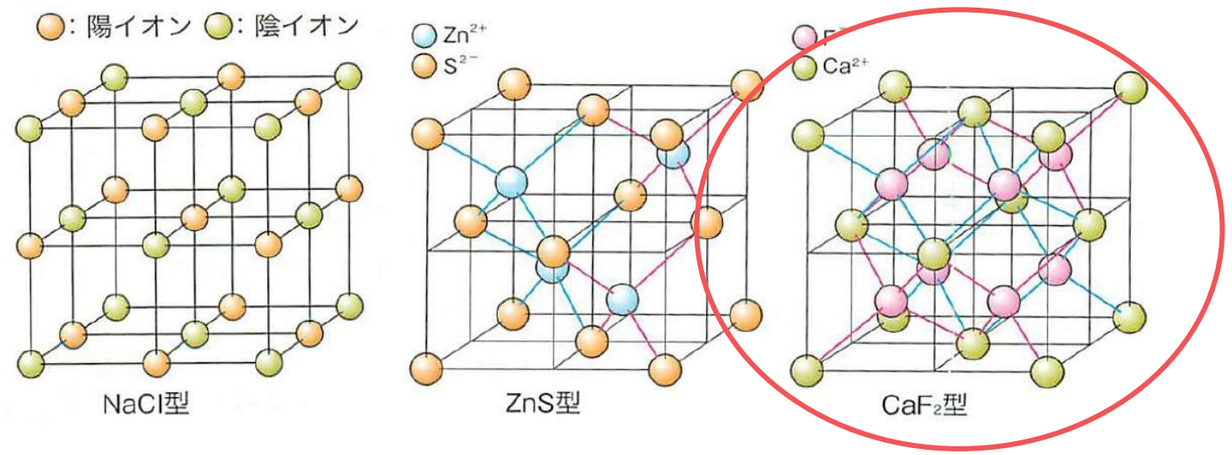


面心立方格子の隙間

参考　面心立方格子には，正四面体隙間 と呼ばれる
4 個の原子に囲まれた隙間（下左側の 2 つの図中の×）と
正八面体隙間 と呼ばれる 6 個の原子に囲まれた隙間
（下右側の 2 つの図中の×）があります。



参考　以下のイオン結晶は、その配置を、上記の隙間を用いて説明できます。



で、今日の問題は？

問2【解答】イ:4　　ウ:23

単位格子あたり，Na^+とCl^-はともに4個ずつ存在するので，

[　　]個

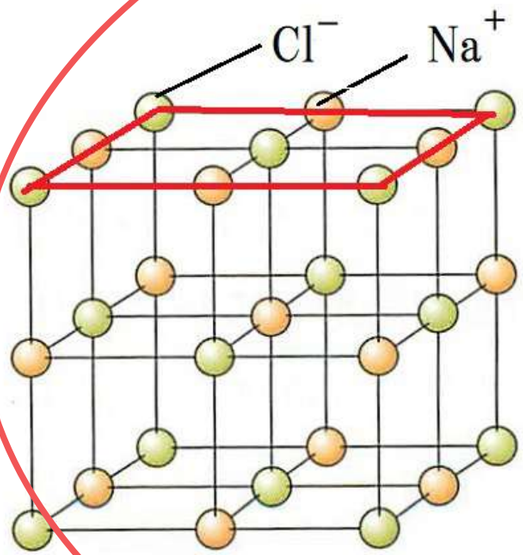
問2【解答】イ:4　　ウ:23

単位格子あたり，Na^+とCl^-はともに4個ずつ存在するので，

$$\frac{4}{(0.56)^3} \fallingdotseq 22.7$$

個

【平面abc】 問2の解答　**エ：6．4**　　**オ：6．4**



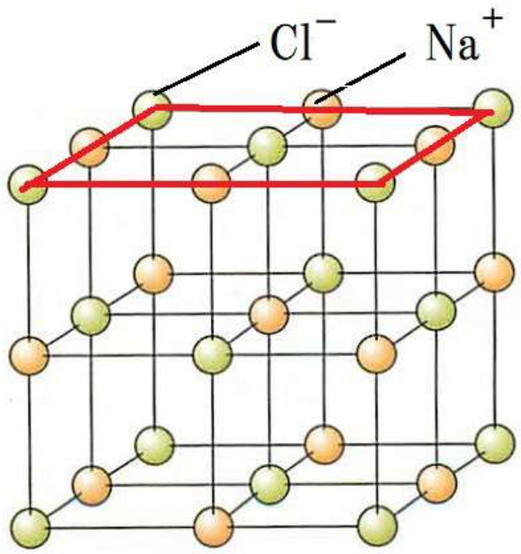
abc を含む正方形内に中心を持つ Na^+ と Cl^- のイオン数は，

Na^+ [　　] 個　　Cl^- [　　] 個

よって，求める値は Na^+，Cl^- ともに，

[　　] $/nm^2$

【平面abc】 問2の解答　**エ：6．4**　　**オ：6．4**



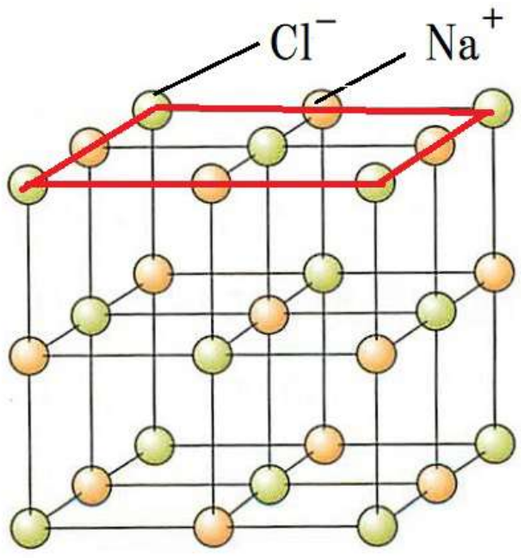
abcを含む正方形内に中心を持つ Na^+ と Cl^- のイオン数は，

Na^+ $\frac{1}{2} \times 4 = 2$ 個　　Cl^- 　　個

よって，求める値は Na^+，Cl^- ともに，

　　$/nm^2$

【平面abc】 問2の解答　**エ:6.4**　　**オ:6.4**



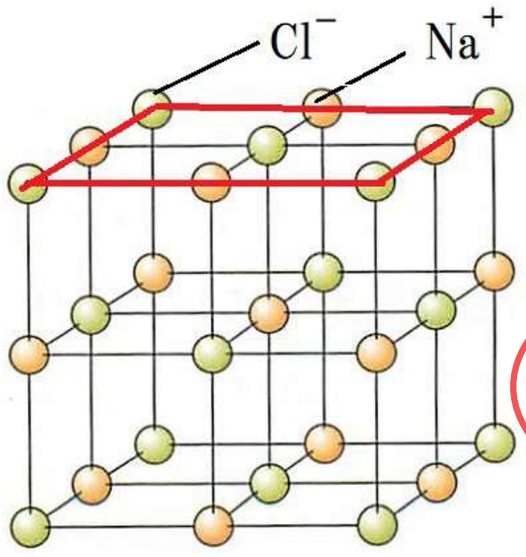
abc を含む正方形内に中心を持つ Na^+ と Cl^- のイオン数は，

Na^+ $\boxed{\frac{1}{2}\times 4=2}$ 個　　Cl^- $\boxed{1+\frac{1}{4}\times 4=2}$ 個

よって，求める値は Na^+，Cl^- ともに，

$\boxed{}$ /nm^2

【平面abc】 問2の解答　**エ:6.4**　　**オ:6.4**



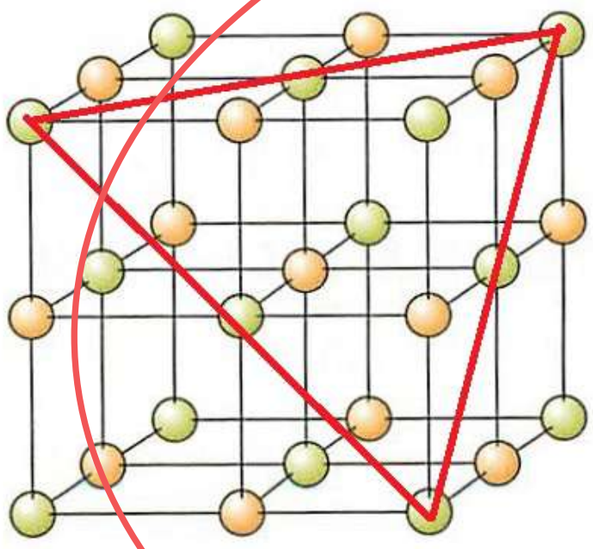
abc を含む正方形内に中心を持つ Na^+ と Cl^- のイオン数は,

Na^+ $\boxed{\frac{1}{2}\times 4 = 2}$ 個　　Cl^- $\boxed{1+\frac{1}{4}\times 4 = 2}$ 個

よって，求める値は Na^+，Cl^- ともに,

$$\boxed{\frac{2}{(0.56\ \mathrm{nm})^2} = 6.37}\ /\mathrm{nm}^2$$

【平面abd】　問2の解答　**カ：0**　　**キ：7.4**



正三角形 abd 内に中心を持つ Na^+ と Cl^- のイオン数は，

Na^+ [　　] 個　　Cl^- [　　] 個

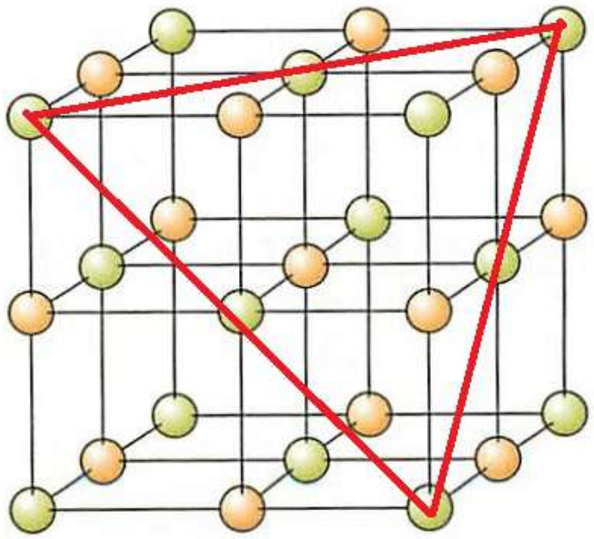
また，正三角形 abd の面積は，

[　　] nm^2

よって，求める値は，

[　　] $/nm^2$

【平面abd】　問2の解答　**カ：0**　　**キ：7.4**



正三角形 abd 内に中心を持つ Na^+ と Cl^- のイオン数は，

Na^+ [0] 個　　Cl^- [　　] 個

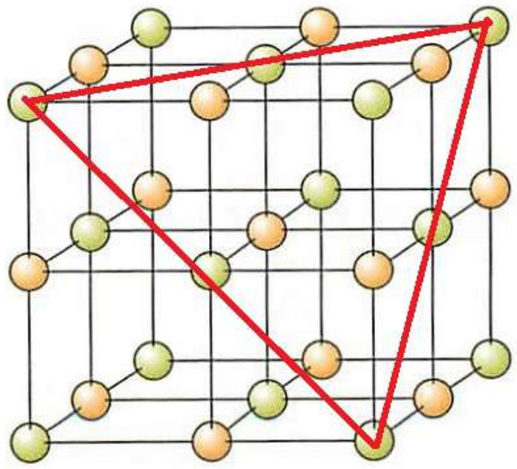
また，正三角形 abd の面積は，

[　　] nm^2

よって，求める値は，

[　　] $/nm^2$

【平面abd】　問2の解答　**カ：0**　　**キ：7.4**



正三角形 abd 内に中心を持つ Na^+ と Cl^- のイオン数は，

Na^+ [0] 個　　Cl^- [$\frac{1}{2}\times 3+\frac{1}{6}\times 3=2$] 個

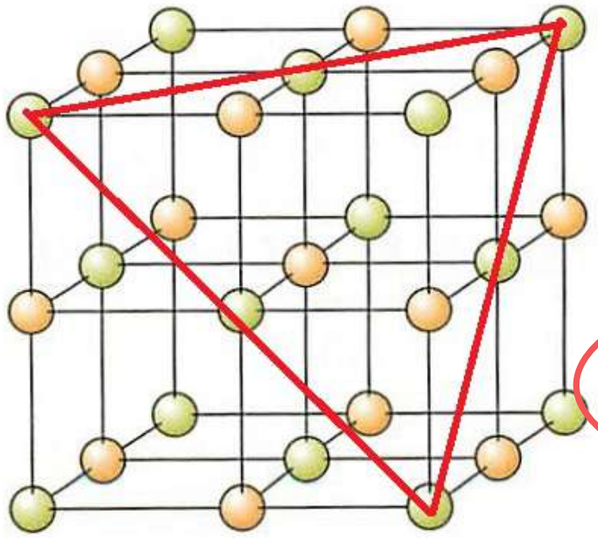
また，正三角形 abd の面積は，

[　　] nm^2

よって，求める値は，

[　　] $/nm^2$

【平面abd】　問2の解答　**カ：0**　　**キ：7.4**



正三角形 abd 内に中心を持つ Na^+ と Cl^- のイオン数は，

Na^+ [0] 個　　Cl^- [$\frac{1}{2}\times 3+\frac{1}{6}\times 3=2$] 個

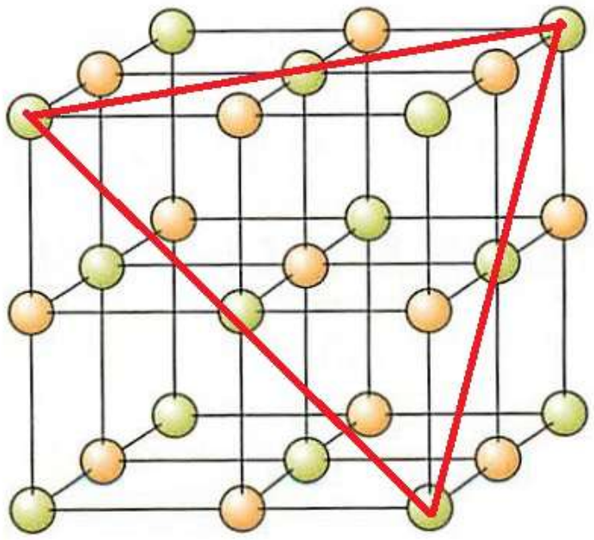
また，正三角形 abd の面積は，

[$\frac{1}{2}\times(0.56\times\sqrt{2}\ \mathrm{nm})^2\times\frac{\sqrt{3}}{2}=0.28\times0.56\times\sqrt{3}$] nm^2

よって，求める値は，

[　　] $/nm^2$

【平面abd】　問2の解答　**カ：0**　　**キ：7.4**



正三角形 abd 内に中心を持つ Na^+ と Cl^- のイオン数は，

Na^+ 0 個　　Cl^- $\frac{1}{2}\times 3+\frac{1}{6}\times 3=2$ 個

また，正三角形 abd の面積は，

$\frac{1}{2}\times(0.56\times\sqrt{2}\ \mathrm{nm})^2\times\frac{\sqrt{3}}{2}=0.28\times0.56\times\sqrt{3}$ nm^2

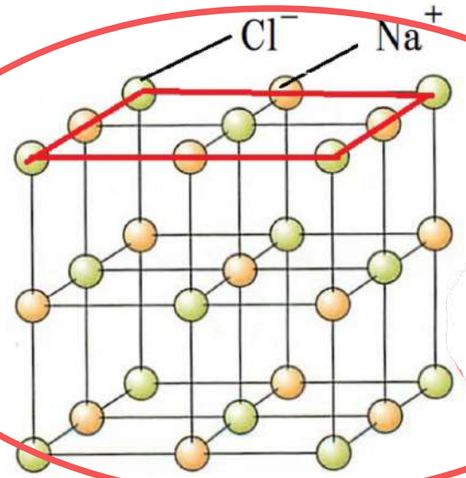
よって，求める値は，

$\frac{2}{0.28\times0.56\times\sqrt{3}\ \mathrm{nm}^2}=7.35$ $/\mathrm{nm}^2$

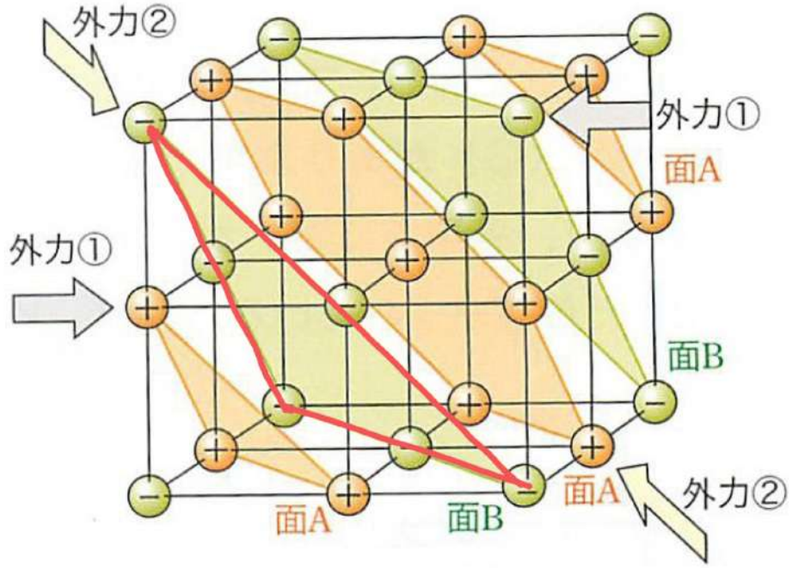
問3の解答

平面abcは交互に並んだ陽イオンと陰イオンとからなり、この平面に平行な格子面に沿ってイオンの位置がずれると、同符号のイオンどうしが向き合うため電気的に反発するが、平面abdは同符号のイオンのみからなり、この平面に平行な格子面に沿ってイオンの位置がずれても、異符号のイオンどうしが向き合ったままで反発しないから。

【平面abc】



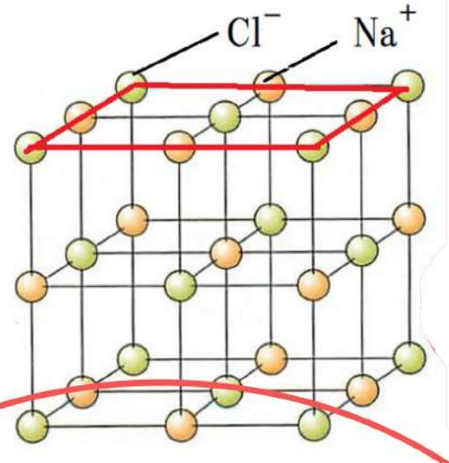
【平面abd】



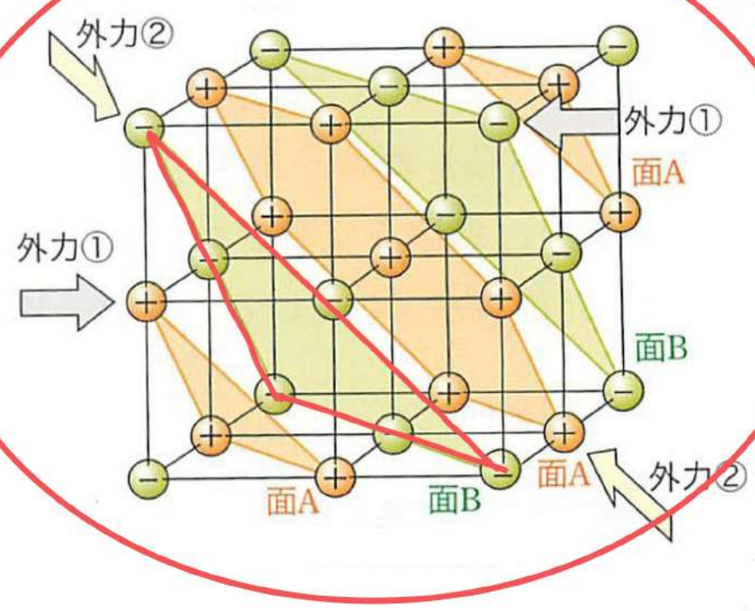
問3の解答

平面abcは交互に並んだ陽イオンと陰イオンとからなり、この平面に平行な格子面に沿ってイオンの位置がずれると、同符号のイオンどうしが向き合うため電気的に反発するが、平面abdは同符号のイオンのみからなり、この平面に平行な格子面に沿ってイオンの位置がずれても、異符号のイオンどうしが向き合ったままで反発しないから。

【平面abc】



【平面abd】

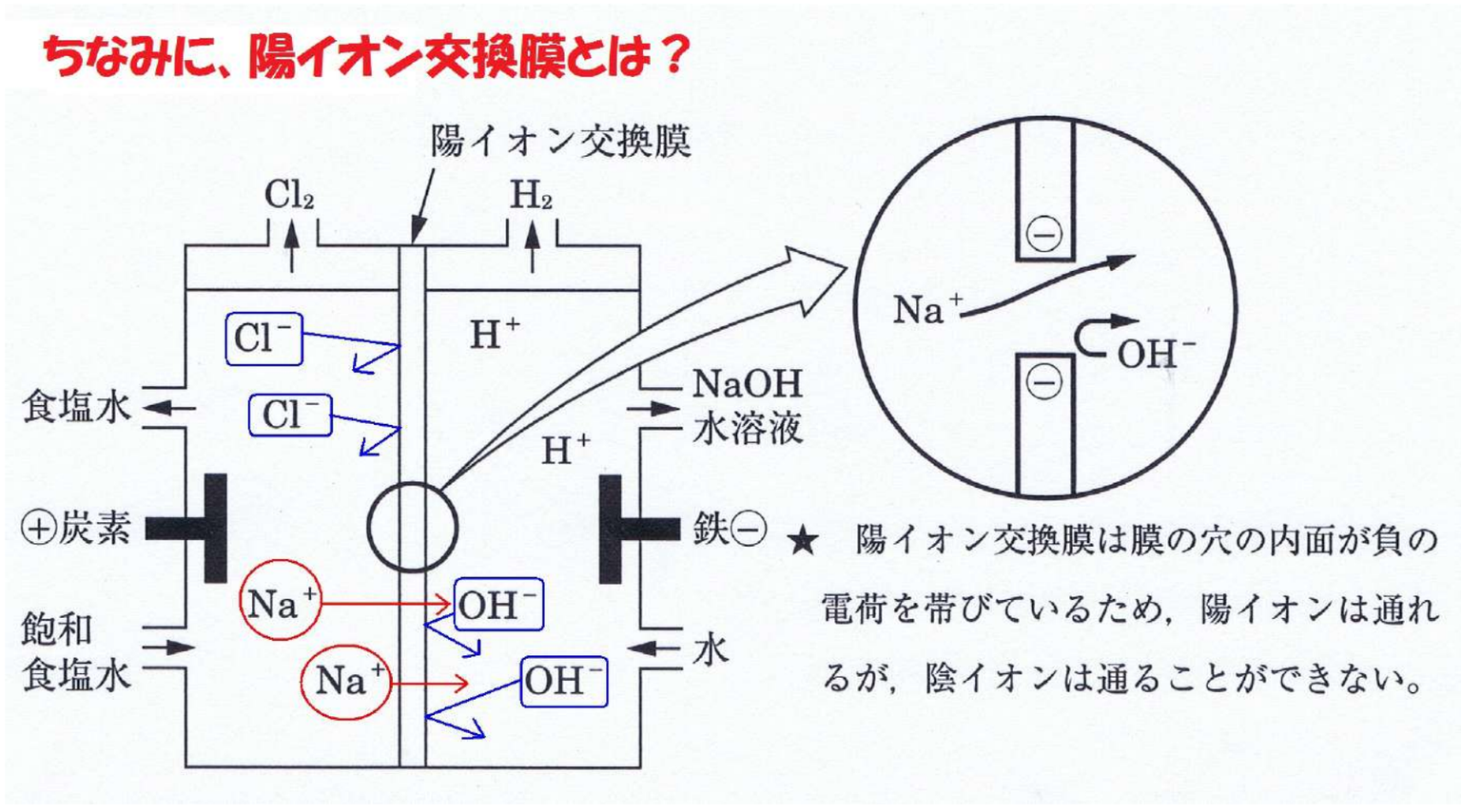


3-2 食塩水の電気分解

イオン交換膜法って??

NaOHやCl2の工業的製法です。

ちなみに、陽イオン交換膜とは？



★ 陽イオン交換膜は膜の穴の内面が負の電荷を帯びているため，陽イオンは通れるが，陰イオンは通ることができない。

イオン交換膜法の概略

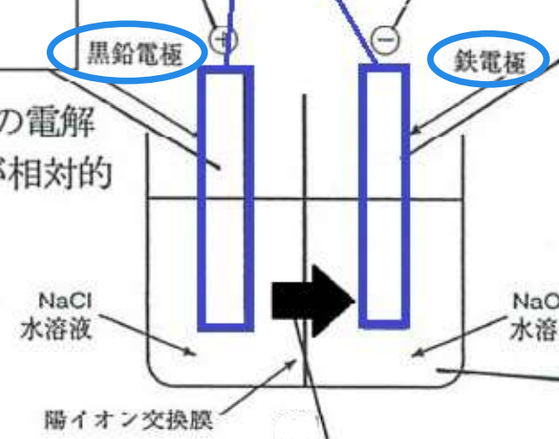
安定な電極

陽極での電極反応

陰極での電極反応

陽極で発生する気体

陰極で発生する気体



と同時に、陽極側の電解液内では、Na^+が相対的に過剰になる。

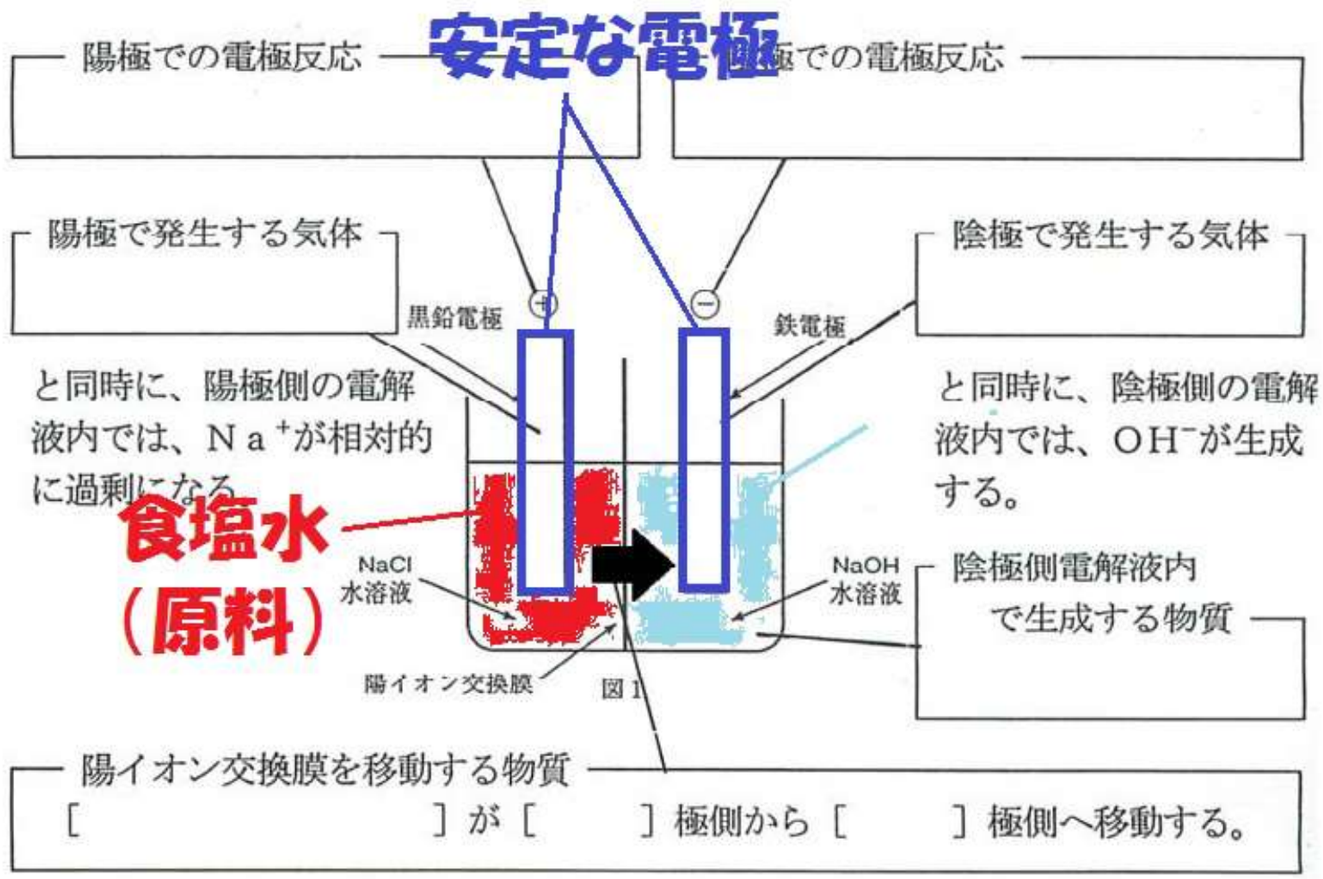
と同時に、陰極側の電解液内では、OH^-が生成する。

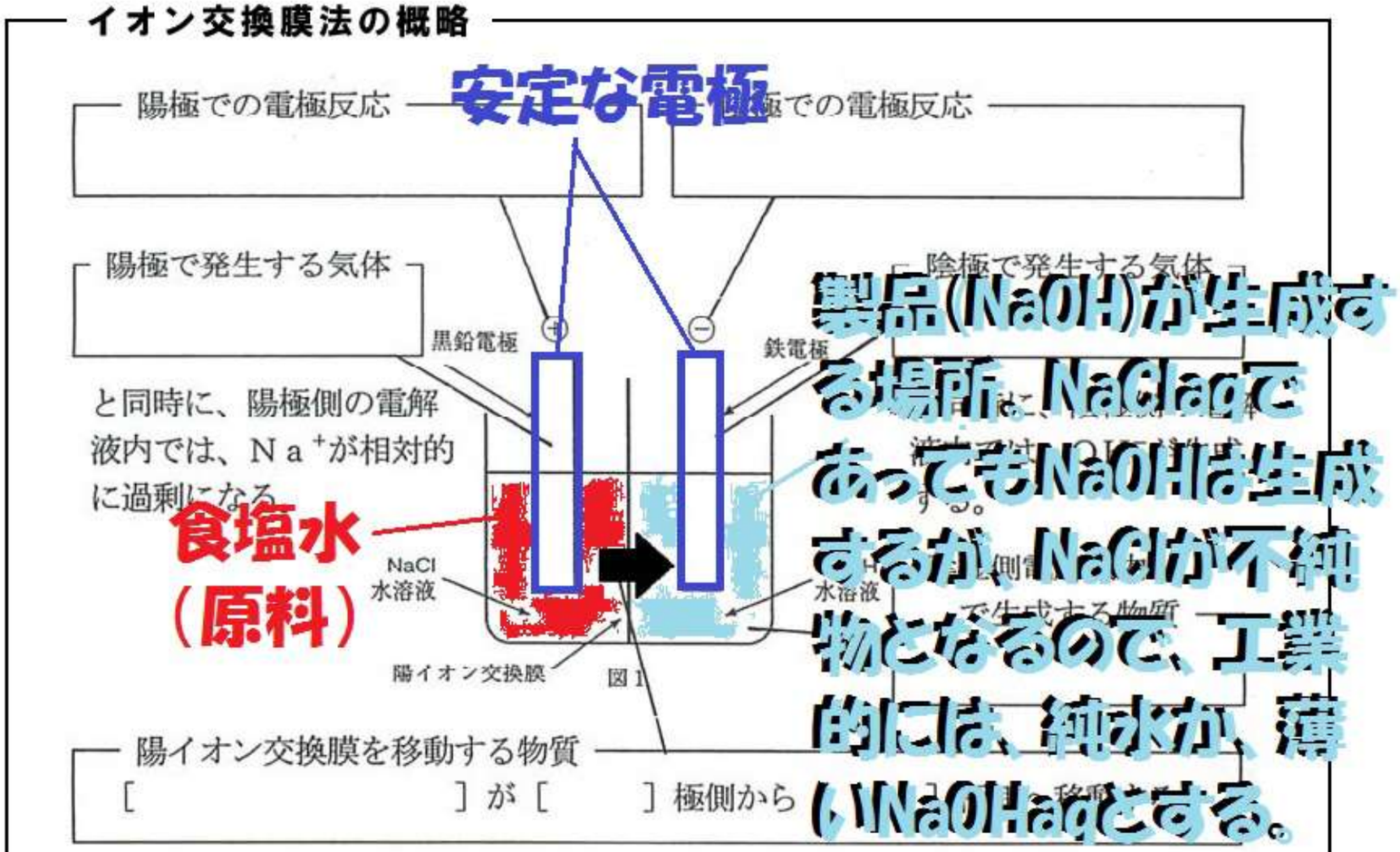
陰極側電解液内で生成する物質

陽イオン交換膜を移動する物質

[　　]が[　　]極側から[　　]極側へ移動する。

イオン交換膜法の概略


安定な電極
陽極での電極反応
陰極での電極反応
陽極で発生する気体
陰極で発生する気体
黒鉛電極
鉄電極
と同時に、陽極側の電解液内では、Na⁺が相対的に過剰になる。
と同時に、陰極側の電解液内では、OH⁻が生成する。
食塩水（原料）
NaCl水溶液
NaOH水溶液
陰極側電解液内で生成する物質
陽イオン交換膜
図1
陽イオン交換膜を移動する物質
[　　]が[　　]極側から[　　]極側へ移動する。



注意: 今日の問題文中の題材は、工業的製法ではなく
陰極側の電解液は食塩水となっています。

イオン交換膜法の概略

陽極での電極反応

① $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

陽極で発生する気体

Cl_2

と同時に、陽極側の電解液内では、Na^+が相対的に過剰になる。

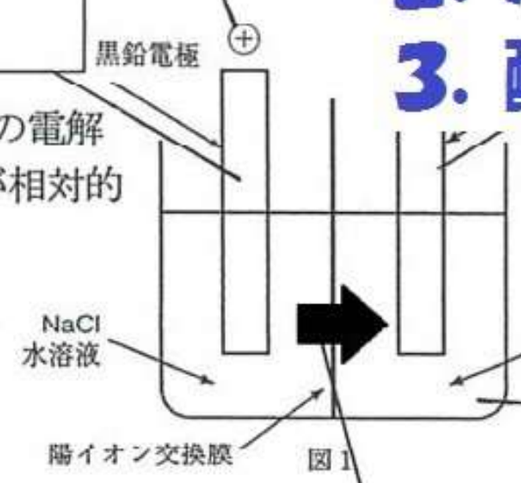


図1

陽極で起こる反応

1. 電極の溶解
2. ハロゲン単体の生成
3. 酸素の発生

と同時に、陰極側の電解液内では、OH^-が生成する。

陰極側電解液内で生成する物質

陽イオン交換膜を移動する物質

[　　]が[　　]極側から[　　]極側へ移動する。

イオン交換膜法の概略

陽極での電極反応

$2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e^-$

陰極での電極反応

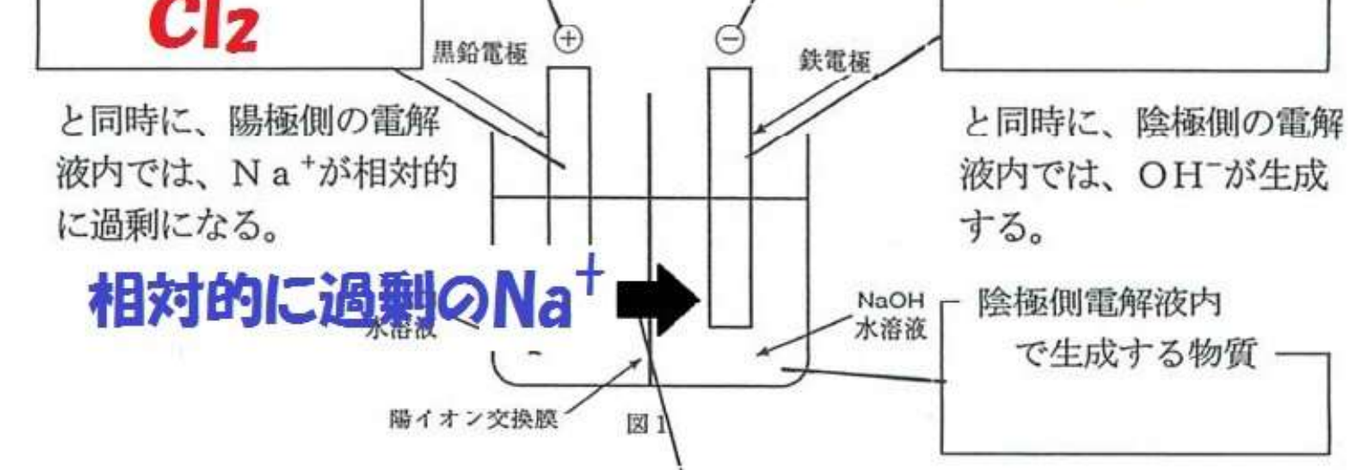
陽極で発生する気体

Cl_2

と同時に、陽極側の電解液内では、Na^+が相対的に過剰になる。

陰極で発生する気体

と同時に、陰極側の電解液内では、OH^-が生成する。



陽イオン交換膜を移動する物質

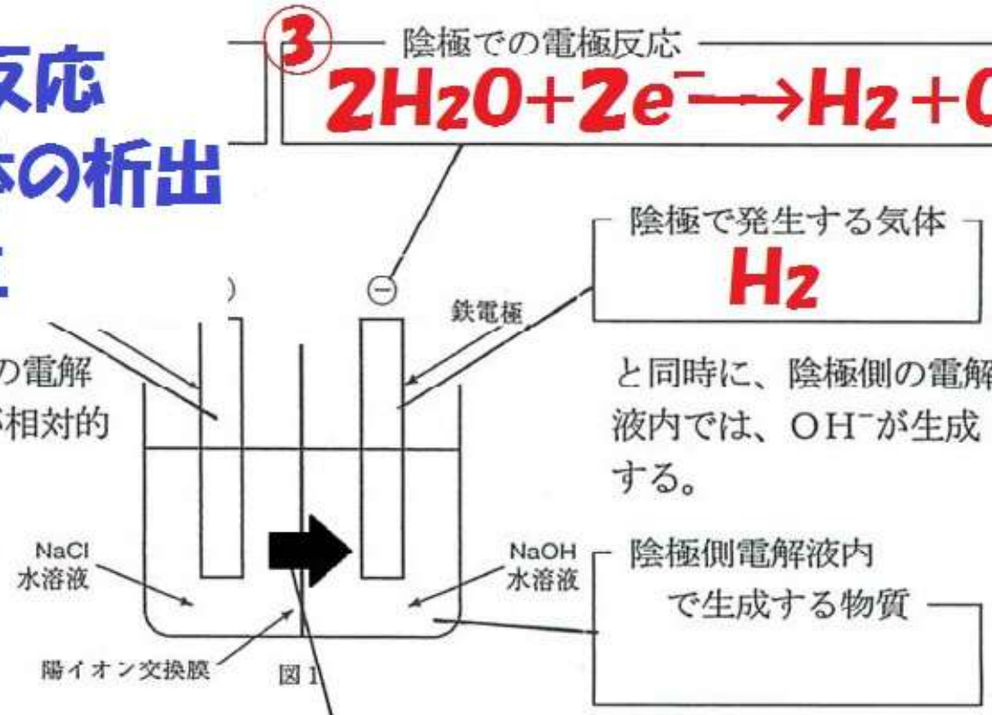
② [Na^+] が [陽] 極側から [陰] 極側へ移動する。

イオン交換膜法の概略

陰極で起こる反応

1. 重金属単体の析出

2. 水素の発生



陽イオン交換膜を移動する物質

② [Na^+] が [陽] 極側から [陰] 極側へ移動する。

イオン交換膜法の概略

陽極での電極反応

$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

③ 陰極での電極反応

$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + OH^-$

陽極で発生する気体

Cl_2

陰極で発生する気体

H_2

黒鉛電極　⊕　⊖　鉄電極

と同時に、陽極側の電解液内では、Na^+が相対的に過剰になる。

相対的に過剰のNa^+

生成したOH^-は陽イオン交換膜を通過できない。

NaOH水溶液

陰極側電解液内で生成する物質

④ $NaOH$

陽イオン交換膜

図1

陽イオン交換膜を移動する物質

② [Na^+] が [陽] 極側から [陰] 極側へ移動する。

イオン交換膜法の全体反応

陽極：　$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

陰極：　$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

全体反応(イオン反応式)　$2Cl^- + 2H_2O \longrightarrow Cl_2 + H_2 + 2OH^-$

$2Na^+ \qquad\qquad 2Na^+$

全体反応(化学反応式)　$2NaCl + 2H_2O \longrightarrow Cl_2 + H_2 + 2NaOH$

食塩水から塩素(水素)、水酸化ナトリウムが得られた！

イオン交換膜法の全体反応

陽極：　$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

陰極：　$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

全体反応(イオン反応式)　$2Cl^- + 2H_2O \longrightarrow Cl_2 + H_2 + 2OH^-$

$2Na^+ \qquad\qquad 2Na^+$

全体反応(化学反応式)　$2NaCl + 2H_2O \longrightarrow Cl_2 + H_2 + 2NaOH$

食塩水から塩素（水素）、水酸化ナトリウムが得られた！

イオン交換膜法の全体反応

陽極：　$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$　（塩化水素）

陰極：　$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

全体反応（イオン反応式）　$2Cl^- + 2H_2O \longrightarrow Cl_2 + H_2 + 2OH^-$

$2Na^+ \qquad\qquad 2Na^+$

全体反応（化学反応式）　$2NaCl + 2H_2O \longrightarrow Cl_2 + H_2 + 2NaOH$

自然には起こりえない反応が起こっているね！！

問1【解答】 ② 　　③

問2【解答】

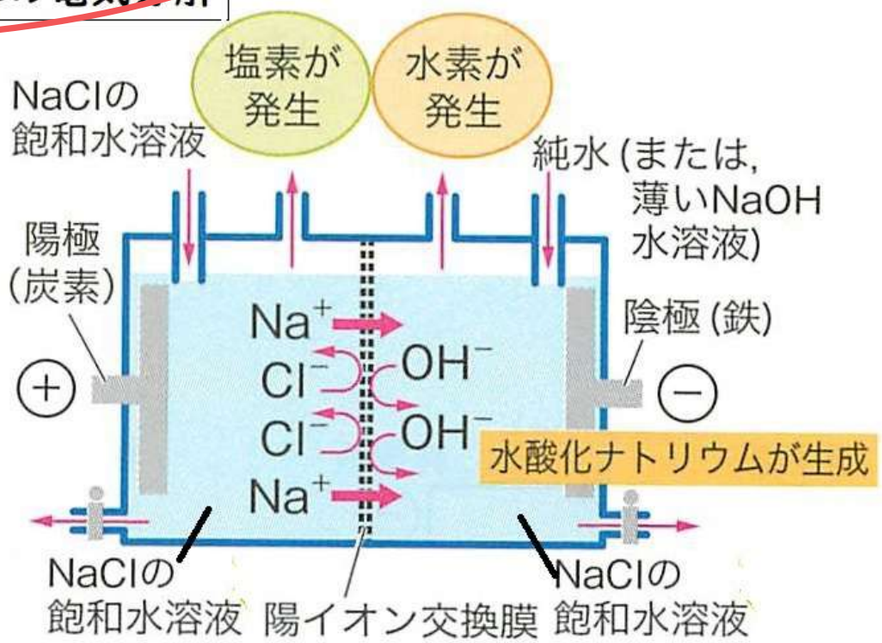
陰極に鉄電極を用いた場合の食塩水の電気分解

陽極では，水溶液中の塩化物イオンが酸化され，塩素が発生する。

$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

陰極では，水が還元され，水素が発生し，水溶液中に水酸化物イオンが生成する。

$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$



全体では，次の反応が起こる。 $2NaCl + 2H_2O \longrightarrow 2NaOH + H_2 + Cl_2$

問1【解答】 ② 水酸化ナトリウム ③

問2【解答】

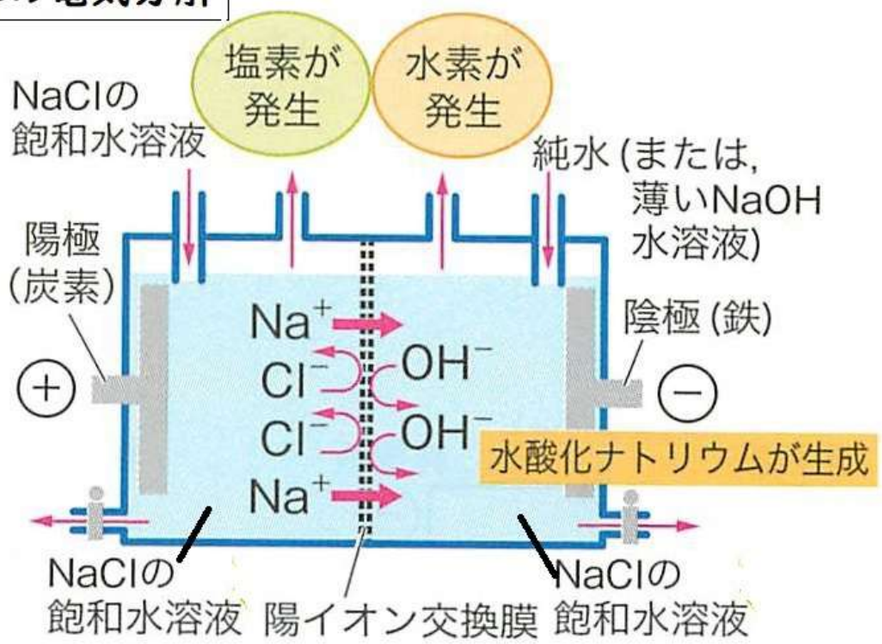
陰極に鉄電極を用いた場合の食塩水の電気分解

陽極では，水溶液中の塩化物イオンが酸化され，塩素が発生する。

$$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$$

陰極では，水が還元され，水素が発生し，水溶液中に水酸化物イオンが生成する。

$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$$



全体では，次の反応が起こる。 $2NaCl + 2H_2O \longrightarrow 2NaOH + H_2 + Cl_2$

問1【解答】 ② 水酸化ナトリウム ③ 塩素

問2【解答】

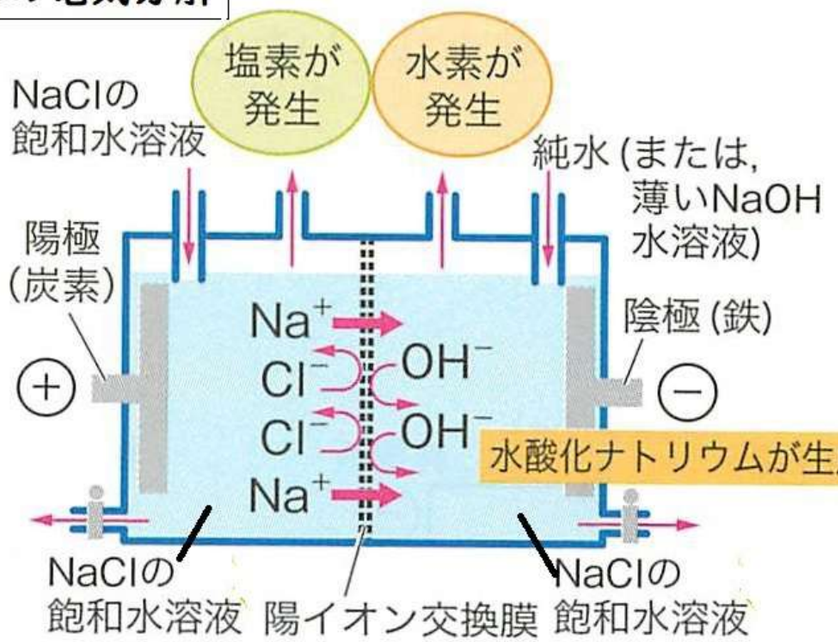
陰極に鉄電極を用いた場合の食塩水の電気分解

陽極では，水溶液中の塩化物イオンが酸化され，塩素が発生する。

$$2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$$

陰極では，水が還元され，水素が発生し，水溶液中に水酸化物イオンが生成する。

$$2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$$



全体では，次の反応が起こる。 $2NaCl + 2H_2O \longrightarrow 2NaOH + H_2 + Cl_2$

問1【解答】 ② 水酸化ナトリウム ③ 塩素

問2【解答】 $2H_2O+2e^- \longrightarrow H_2+2OH^-$

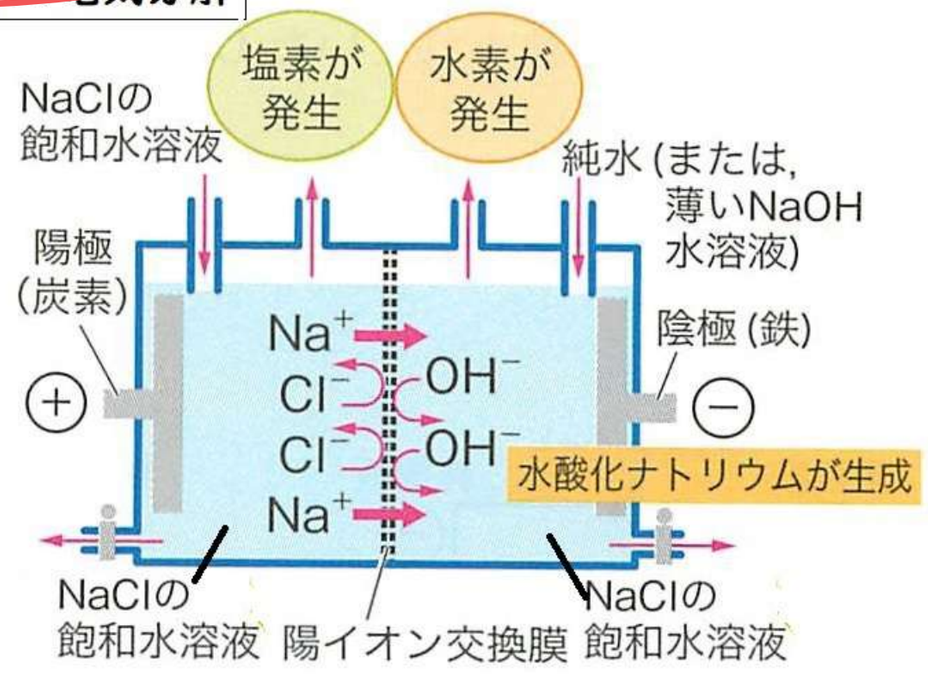
陰極に鉄電極を用いた場合の食塩水の電気分解

陽極では，水溶液中の塩化物イオンが酸化され，塩素が発生する。

$2Cl^- \longrightarrow Cl_2+2e^-$

陰極では，水が還元され，水素が発生し，水溶液中に水酸化物イオンが生成する。

$2H_2O+2e^- \longrightarrow H_2+2OH^-$



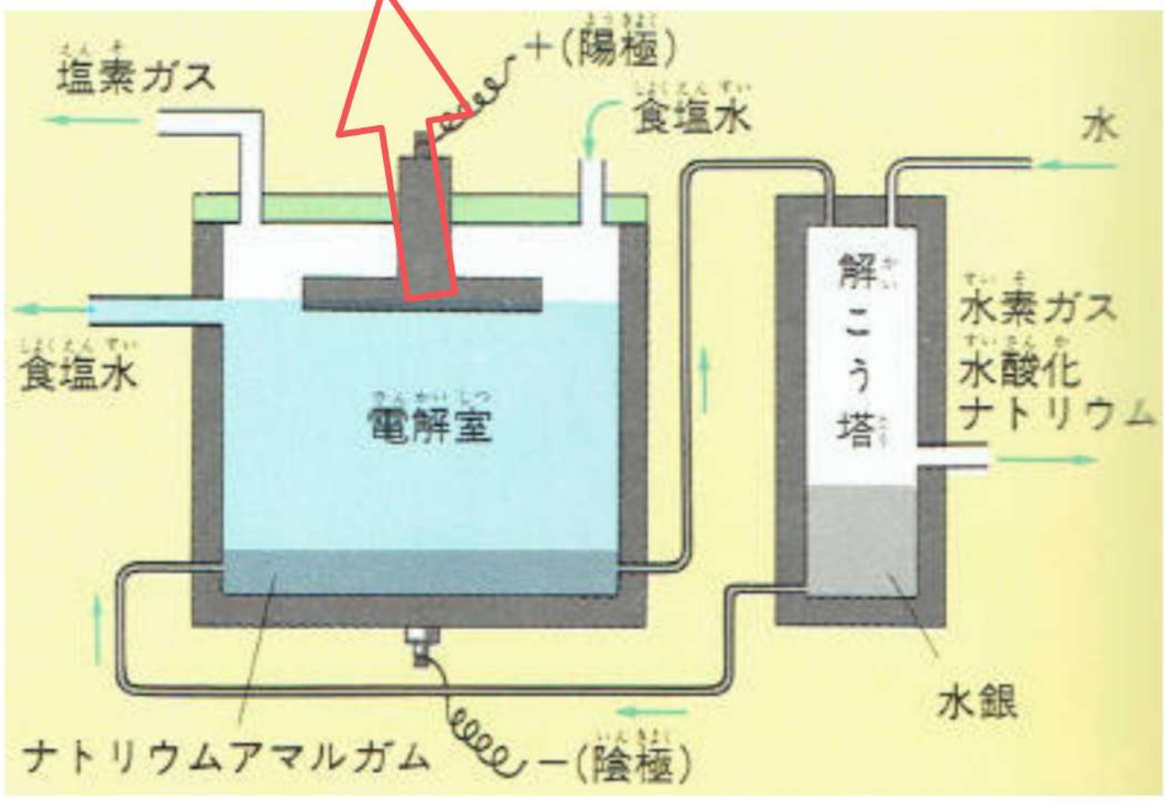
全体では，次の反応が起こる。 $2NaCl+2H_2O \longrightarrow 2NaOH+H_2+Cl_2$

ここまででいいと思う(´ ▽ `)。

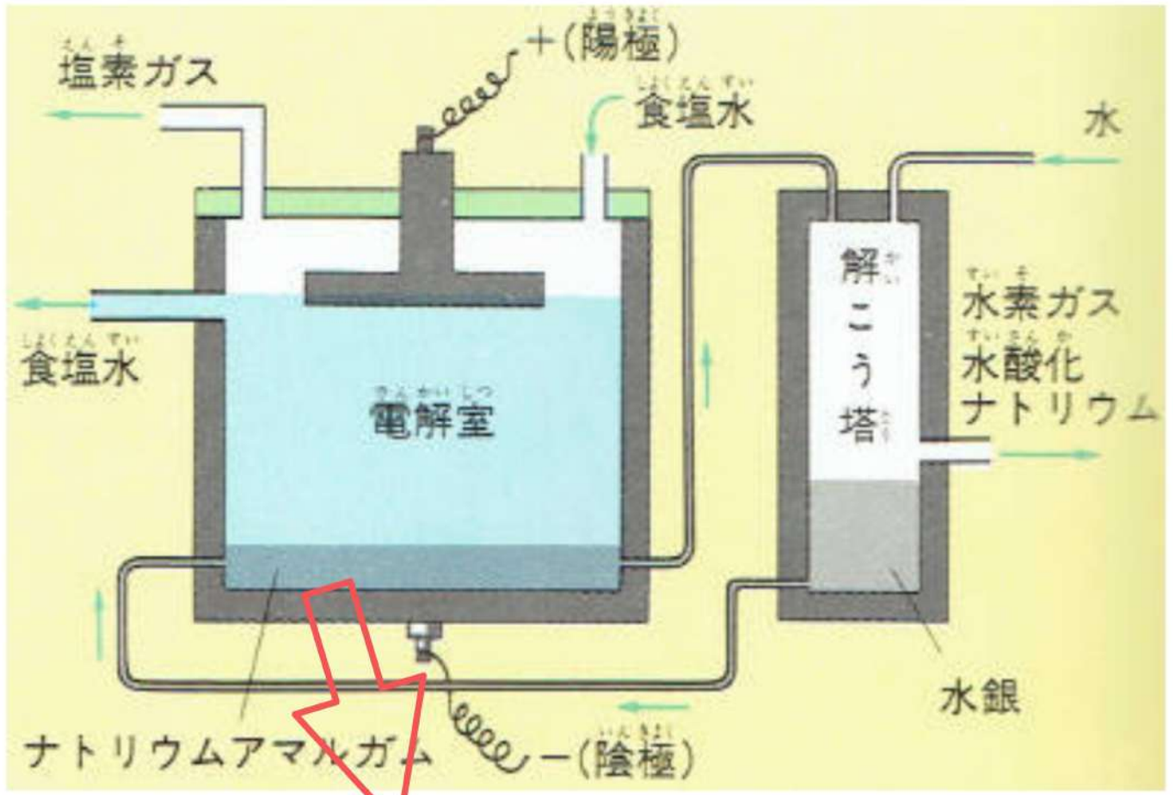
NaOHは、かつては、
「隔膜法」や「水銀法」
で製造されていた。

「水銀法」

1 $2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$



1 $2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

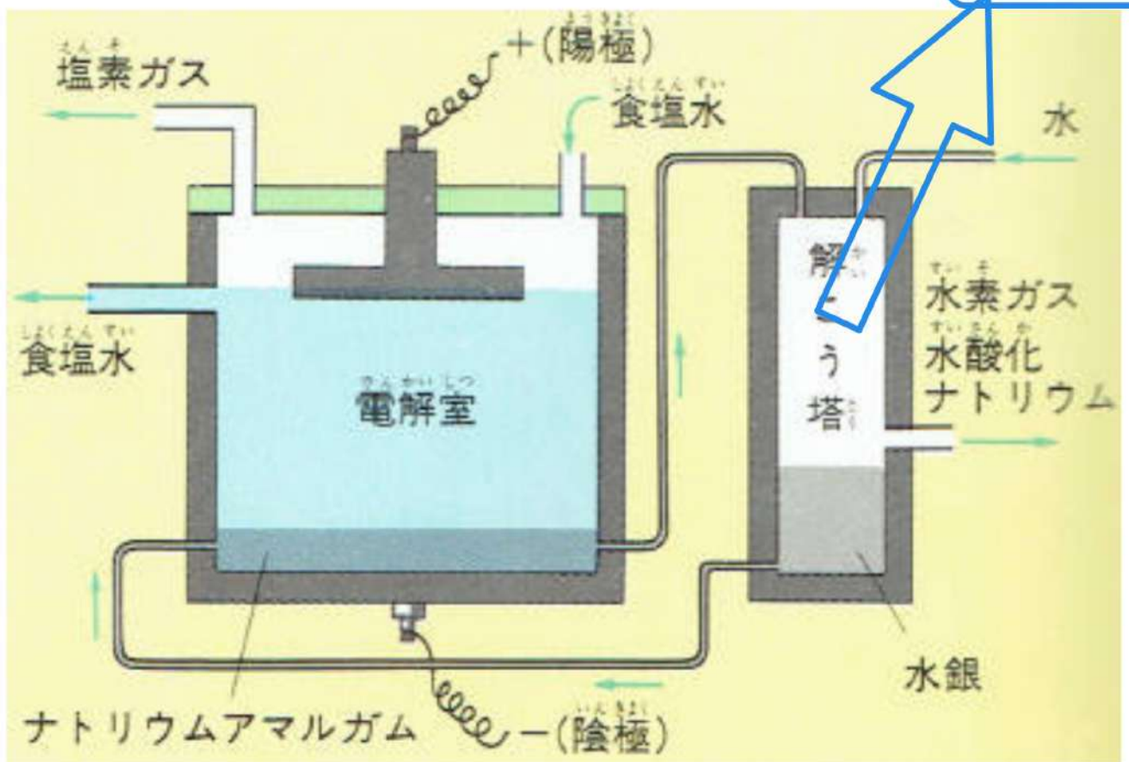


2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$

1 $2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

3 $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

$Na \longrightarrow Na^+ + e^-$

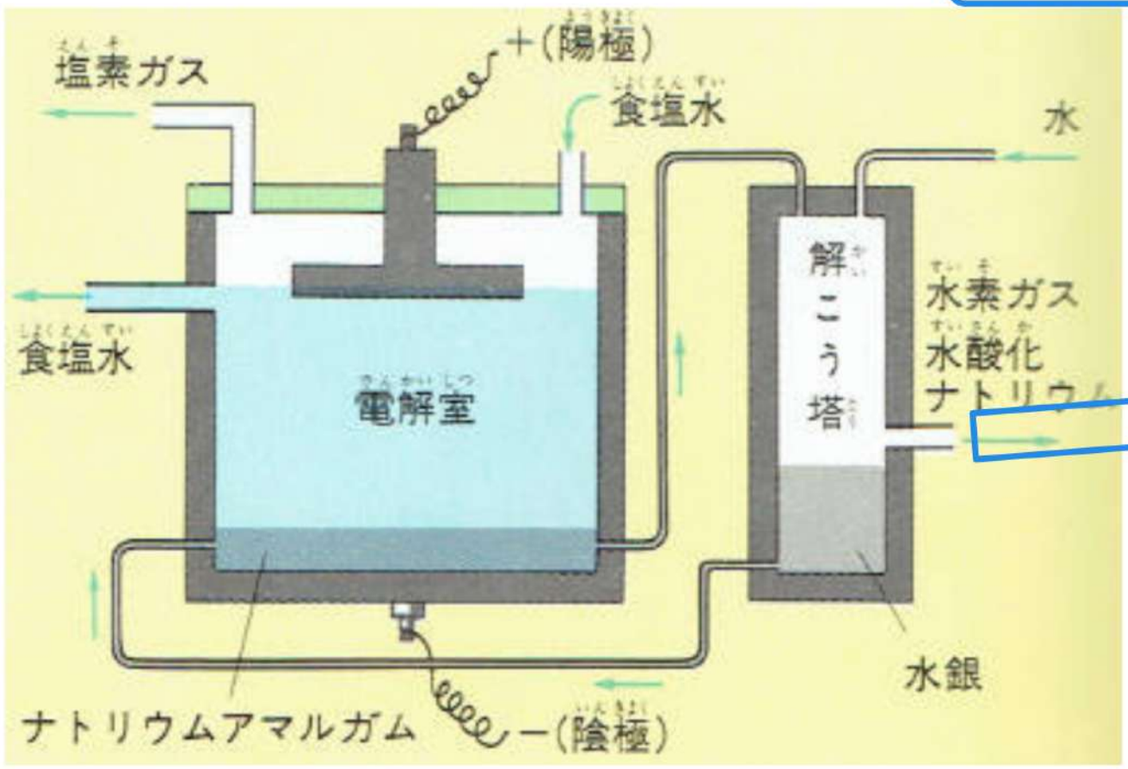


2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$

1 $2Cl^- \longrightarrow Cl_2 + 2e^-$

3 $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

$Na \longrightarrow Na^+ + e^-$



4 H_2 $NaOH$

2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$

2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ について考えよう。

2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ について考えよう。

問1【解答】①

問3【解答】

問5【解答】

陰極に種々の電極を用いた場合の食塩水の電気分解

⇨ Pt, Fe, Pd電極の場合

⇨ Hg電極の場合

『気体の発生が起こらず』

① 実際に電極で反応を起こさせるためには、理論的な電圧よりも大きい電圧が必要である。
② この活性化エネルギーに相当する、余分に加える必要がある電圧を過電圧という。
③ 水素の発生の際の過電圧は特に大きい。
④ 水素過電圧の大きさの順番は、Hg>Fe>Ptである。

2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ について考えよう。

問1【解答】①

問3【解答】

問5【解答】

陰極に種々の電極を用いた場合の食塩水の電気分解

⇨ Pt, Fe, Pd電極の場合

⇨ Hg電極の場合

『気体の発生が起こらず』

① 実際に電極で反応を起こさせるためには、理論的な電圧よりも大きい電圧が必要である。
② この活性化エネルギーに相当する、余分に加える必要がある電圧を過電圧という。
③ 水素の発生の際の過電圧は特に大きい。
④ 水素過電圧の大きさの順番は、Hg>Fe>Ptである。

2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ について考えよう。

問1【解答】①

問3【解答】

問5【解答】

陰極に種々の電極を用いた場合の食塩水の電気分解

⇨ Pt, Fe, Pd電極の場合 $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

⇨ Hg電極の場合

『気体の発生が起こらず』

① 実際に電極で反応を起こさせるためには、理論的な電圧よりも大きい電圧が必要である。
② この活性化エネルギーに相当する、余分に加える必要がある電圧を過電圧という。
③ 水素の発生の際の過電圧は特に大きい。
④ 水素過電圧の大きさの順番は、Hg>Fe>Ptである。

2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ について考えよう。

問1【解答】①

問3【解答】

問5【解答】

陰極に種々の電極を用いた場合の食塩水の電気分解

⇨ Pt, Fe, Pd電極の場合 $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

⇨ Hg電極の場合 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ (水銀)アマルガム

『気体の発生が起こらず』

① 実際に電極で反応を起こさせるためには、理論的な電圧よりも大きい電圧が必要である。
② この活性化エネルギーに相当する、余分に加える必要がある電圧を過電圧という。
③ 水素の発生の際の過電圧は特に大きい。
④ 水素過電圧の大きさの順番は、Hg>Fe>Ptである。

2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ について考えよう。

問1【解答】① 水銀

問3【解答】

問5【解答】

陰極に種々の電極を用いた場合の食塩水の電気分解

⇨ Pt, Fe, Pd電極の場合 $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

⇨ Hg電極の場合 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ (水銀)アマルガム

『気体の発生が起こらず』

① 実際に電極で反応を起こさせるためには、理論的な電圧よりも大きい電圧が必要である。
② この活性化エネルギーに相当する、余分に加える必要がある電圧を過電圧という。
③ 水素の発生の際の過電圧は特に大きい。
④ 水素過電圧の大きさの順番は、Hg>Fe>Ptである。

2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ について考えよう。

問1【解答】① 水銀

問3【解答】 ナトリウム

問5【解答】

陰極に種々の電極を用いた場合の食塩水の電気分解

⇨ Pt, Fe, Pd電極の場合 $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

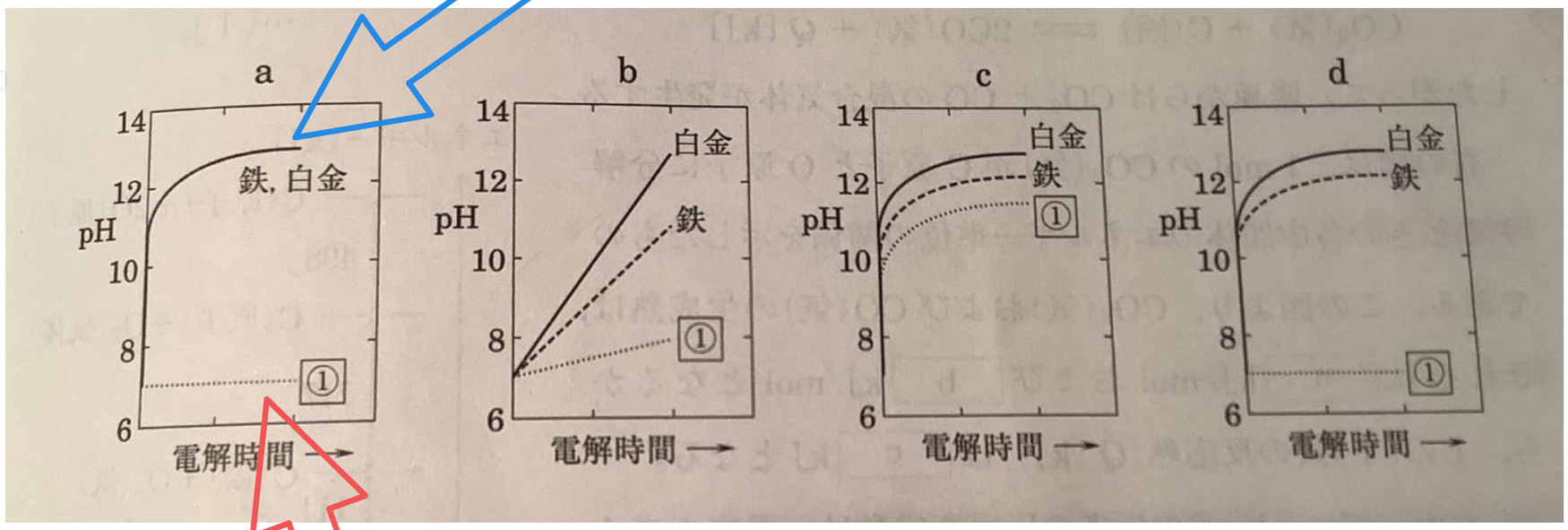
⇨ Hg電極の場合 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$

『気体の発生が起こらず』

① 実際に電極で反応を起こさせるためには、理論的な電圧よりも大きい電圧が必要である。
② この活性化エネルギーに相当する、余分に加える必要がある電圧を過電圧という。
③ 水素の発生の際の過電圧は特に大きい。
④ 水素過電圧の大きさの順番は、Hg>Fe>Ptである。

電流値(電気量)は同じ

Pt, Fe, Pd電極の場合　$2H_2O+2e^- \longrightarrow H_2+2OH^-$



Hg電極の場合　$Na^+ + e^- \longrightarrow Na$

『気体の発生が起こらず』

2 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$ について考えよう。

問1【解答】① 水銀

問3【解答】 ナトリウム

問5【解答】 a

陰極に種々の電極を用いた場合の食塩水の電気分解

⇨ Pt, Fe, Pd電極の場合 $2H_2O + 2e^- \longrightarrow H_2 + 2OH^-$

⇨ Hg電極の場合 $Na^+ + e^- \longrightarrow Na$

『気体の発生が起こらず』

① 実際に電極で反応を起こさせるためには、理論的な電圧よりも大きい電圧が必要である。
② この活性化エネルギーに相当する、余分に加える必要がある電圧を過電圧という。
③ 水素の発生の際の過電圧は特に大きい。
④ 水素過電圧の大きさの順番は、Hg>Fe>Ptである。

3 $2H_2O+2e^- \rightarrow H_2+2OH^-$
$Na \longrightarrow Na^+ + e^-$
について考えよう。

問4【解答】　アマルガム上；

鉄上；

ナトリウムは強い還元剤だよね。

問4【解答】　アマルガム上；$Na \longrightarrow Na^+ + e^-$

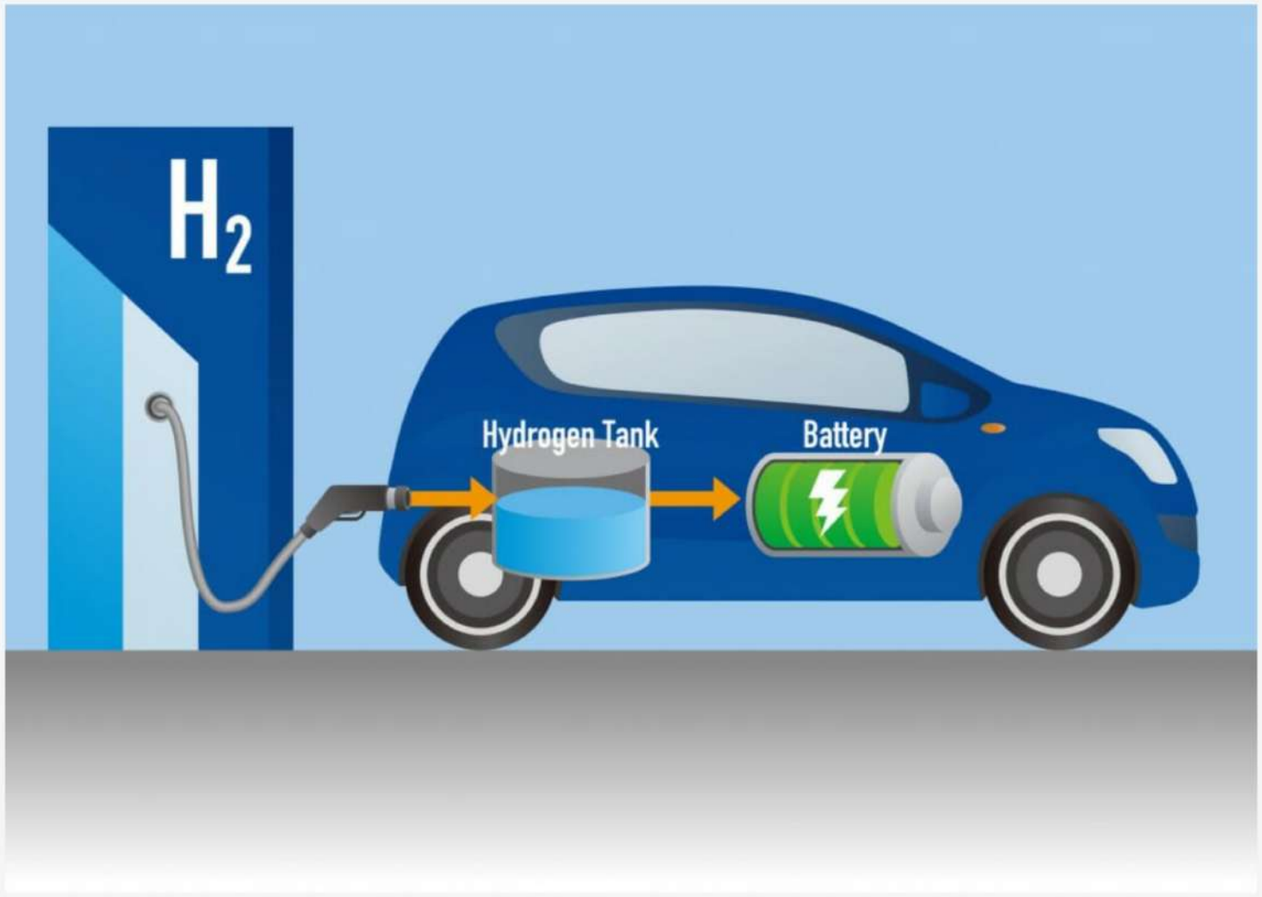
鉄上；

問4【解答】　アマルガム上；$Na \longrightarrow Na^+ + e^-$

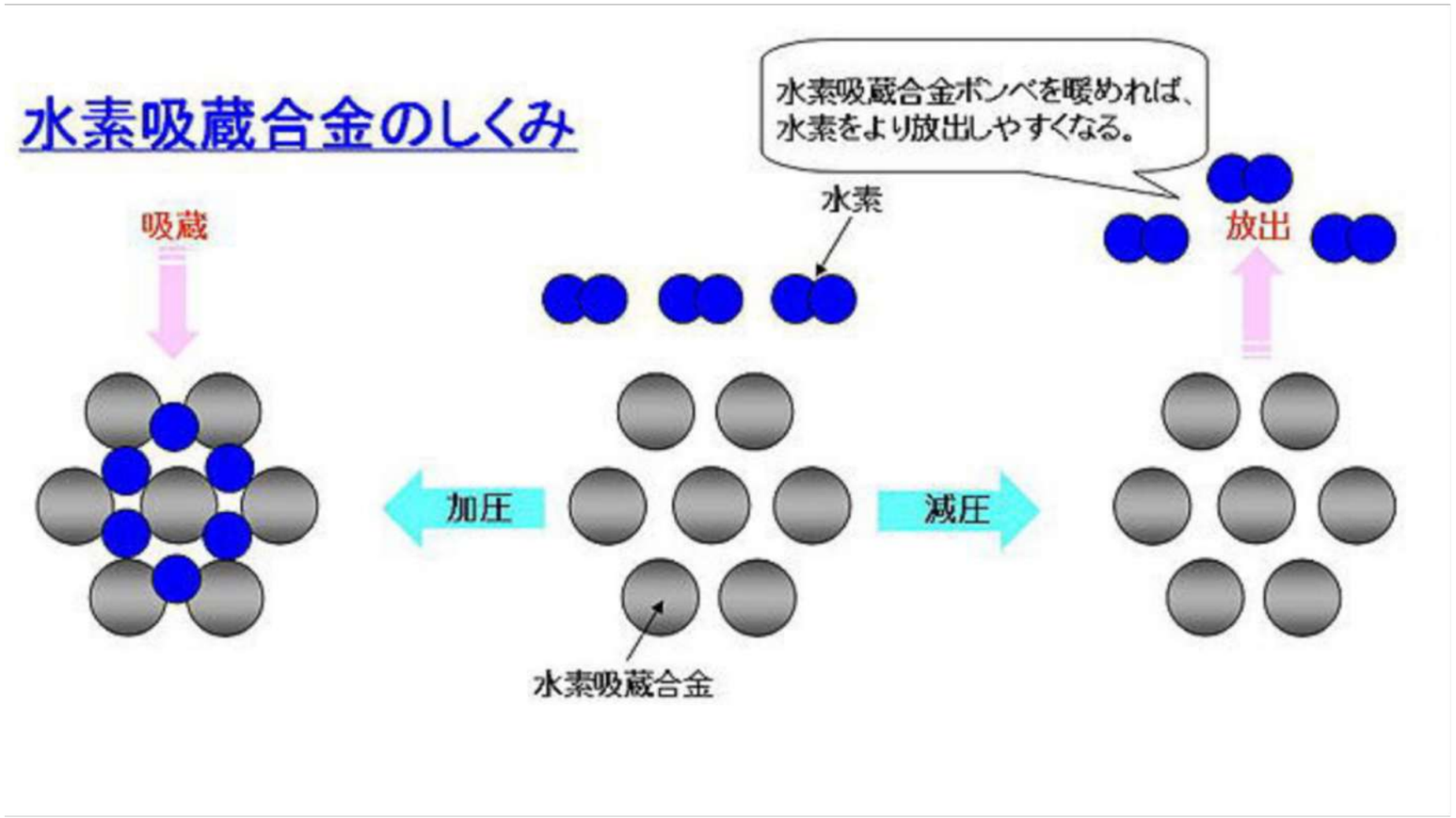
鉄上；$2H_2O + 2e^- \rightarrow H_2 + 2OH^-$

$$2Na + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + H_2$$

話はちょっとかわって、
水素吸蔵合金について。

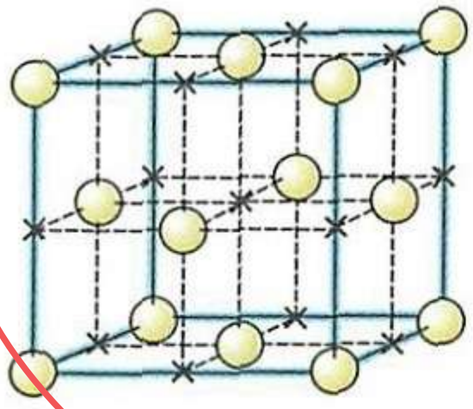


水素燃料電池自動車の仕組み


水素吸蔵合金のしくみ
水素吸蔵合金ボンベを暖めれば、
水素をより放出しやすくなる。
水素
吸蔵
放出
加圧
減圧
水素吸蔵合金

問1【解答】 ④ ⑤

面心立方格子の単位格子中の粒子数と隙間の数

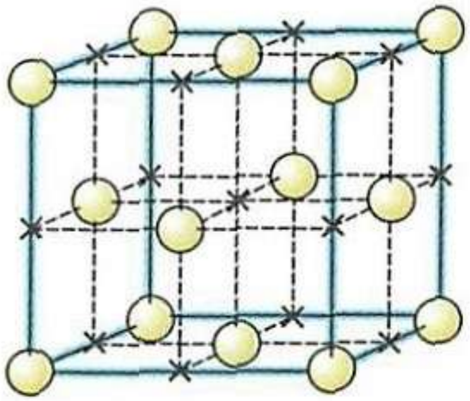


○ Pd原子の数；

×正八面体隙間の数；

問1【解答】 ④ [　　]　⑤ [　　]

面心立方格子の単位格子中の粒子数と隙間の数

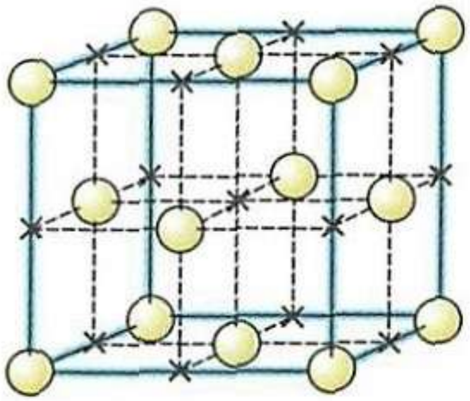


○Pd原子の数；$\frac{1}{8}\times 8+\frac{1}{2}\times 6=4$

×正八面体隙間の数；[　　]

問1【解答】 ④ 4 ⑤

面心立方格子の単位格子中の粒子数と隙間の数

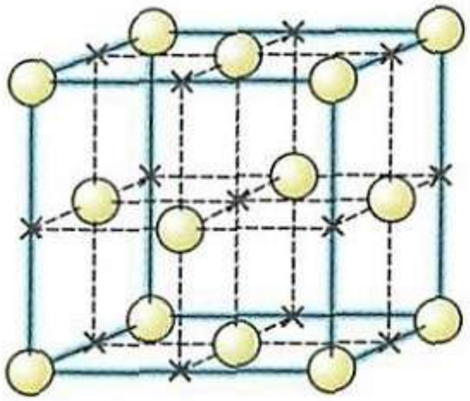


○Pd原子の数; $\frac{1}{8}\times 8+\frac{1}{2}\times 6=4$

×正八面体隙間の数;

問1【解答】 ④ 4 ⑤

面心立方格子の単位格子中の粒子数と隙間の数

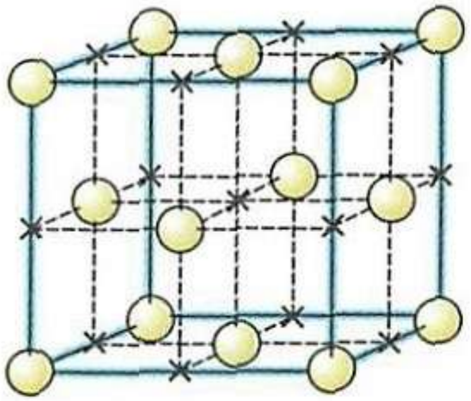


○Pd原子の数; $\frac{1}{8}\times 8+\frac{1}{2}\times 6=4$

×正八面体隙間の数; $1+\frac{1}{4}\times 12=4$

問1【解答】 ④ 4 ⑤ 1

面心立方格子の単位格子中の粒子数と隙間の数

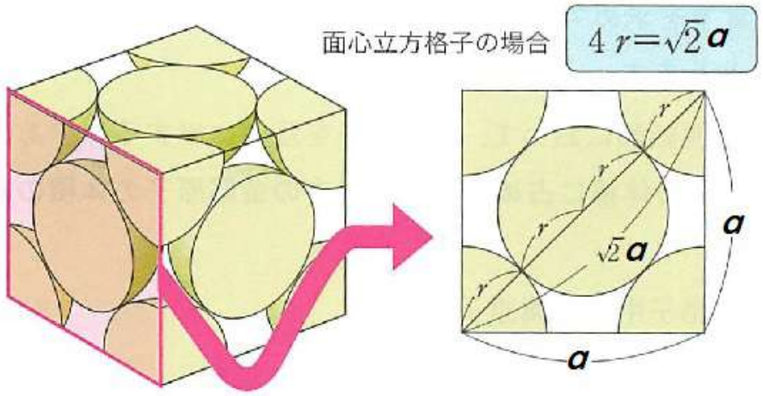


○Pd原子の数; $\frac{1}{8}\times 8+\frac{1}{2}\times 6=4$

×正八面体隙間の数; $1+\frac{1}{4}\times 12=4$

問6【解答】(1) 3.9×10^{-10} m　　(2) 0.61 L

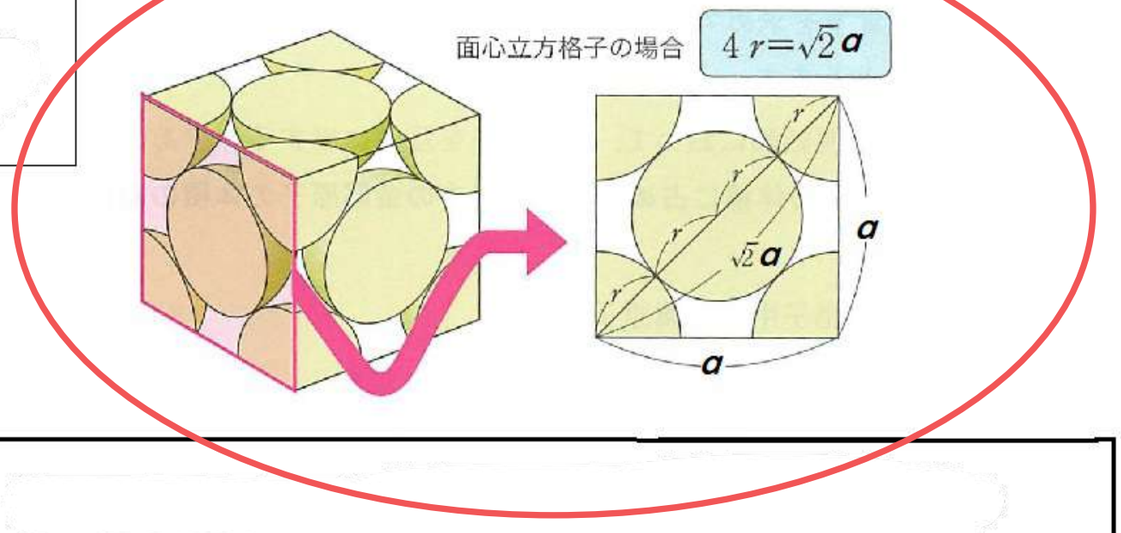
(1) 面心立方格子の単位格子の一辺の長さaと原子半径rとの関係は



よって、$a=2\sqrt{2}r=$ [　　] m

問6【解答】(1) 3.9×10^{-10} m　　(2) 0.61 L

(1) 面心立方格子の単位格子の一辺の長さaと原子半径rとの関係は

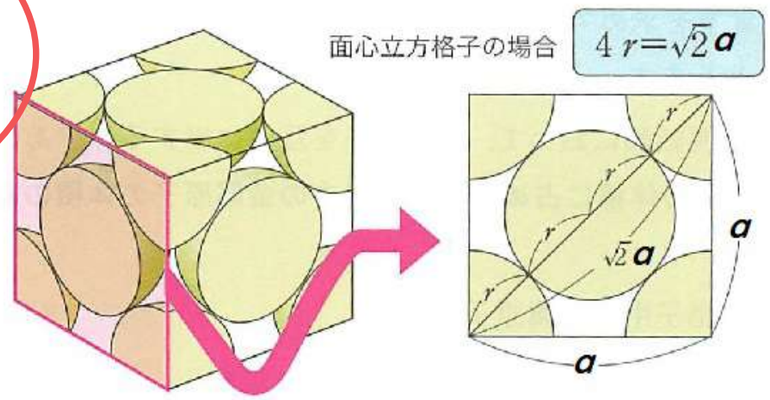


よって、$a=2\sqrt{2}r=$ [　　] m

問6【解答】(1) 3.9×10^{-10} m　　(2) 0.61 L

(1) 面心立方格子の単位格子の一辺の長さaと原子半径rとの関係は

$$\sqrt{2}\,a=4r$$

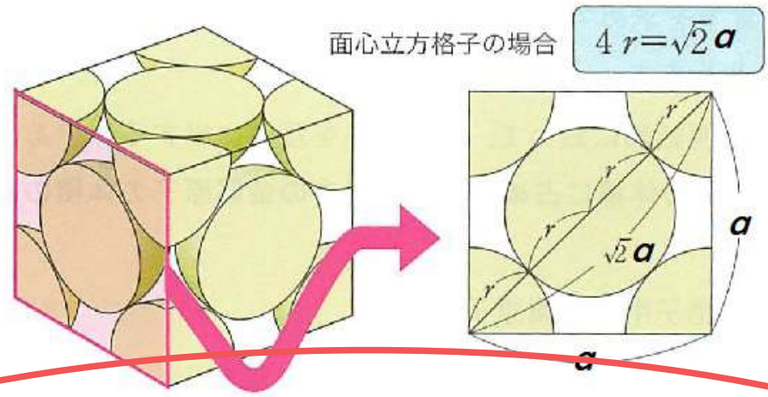


よって、$a=2\sqrt{2}r=$ [　　] m

問6【解答】(1) 3.9×10^{-10} m　　(2) 0.61 L

(1) 面心立方格子の単位格子の一辺の長さaと原子半径rとの関係は

$$\sqrt{2}\,a=4r$$



よって、$a=2\sqrt{2}r=$ $2\times1.41\times1.4\times10^{-10}=3.94\times10^{-10}$ m

$(3.94\times10^{-8}\ \mathrm{cm})^3$

（2） Pdに吸蔵された水素の体積

Pd原子の数；　　個

取り出せる H_2 分子の数；　　個

その標準状態における体積は・・・　　$\times \dfrac{22.4}{6.02\times10^{23}}$

　　L

（2） Pdに吸蔵された水素の体積

Pd原子の数；$\dfrac{1\,\mathrm{cm}^3}{(3.94\times10^{-8}\,\mathrm{cm})^3}\times4$ 個

取り出せる H_2 分子の数；　　個

その標準状態における体積は・・・　$\times\dfrac{22.4}{6.02\times10^{23}}$

　　L

(2) Pdに吸蔵された水素の体積

Pd原子の数; $\dfrac{1\,\mathrm{cm}^3}{(3.94\times10^{-8}\,\mathrm{cm})^3}\times4$ 個

取り出せる H_2 分子の数; $\dfrac{1\,\mathrm{cm}^3}{(3.94\times10^{-8}\,\mathrm{cm})^3}\times4\times0.5\times\dfrac{1}{2}$ 個

その標準状態における体積は・・・ $\times\dfrac{22.4}{6.02\times10^{23}}$

L

（2） Pdに吸蔵された水素の体積

Pd原子の数；$\dfrac{1\,\mathrm{cm}^3}{(3.94\times10^{-8}\,\mathrm{cm})^3}\times4$ 個

取り出せる H_2 分子の数；$\dfrac{1\,\mathrm{cm}^3}{(3.94\times10^{-8}\,\mathrm{cm})^3}\times4\times0.5\times\dfrac{1}{2}$ 個

その標準状態における体積は・・・ $\times\dfrac{22.4}{6.02\times10^{23}}$

0.608 L

3—3

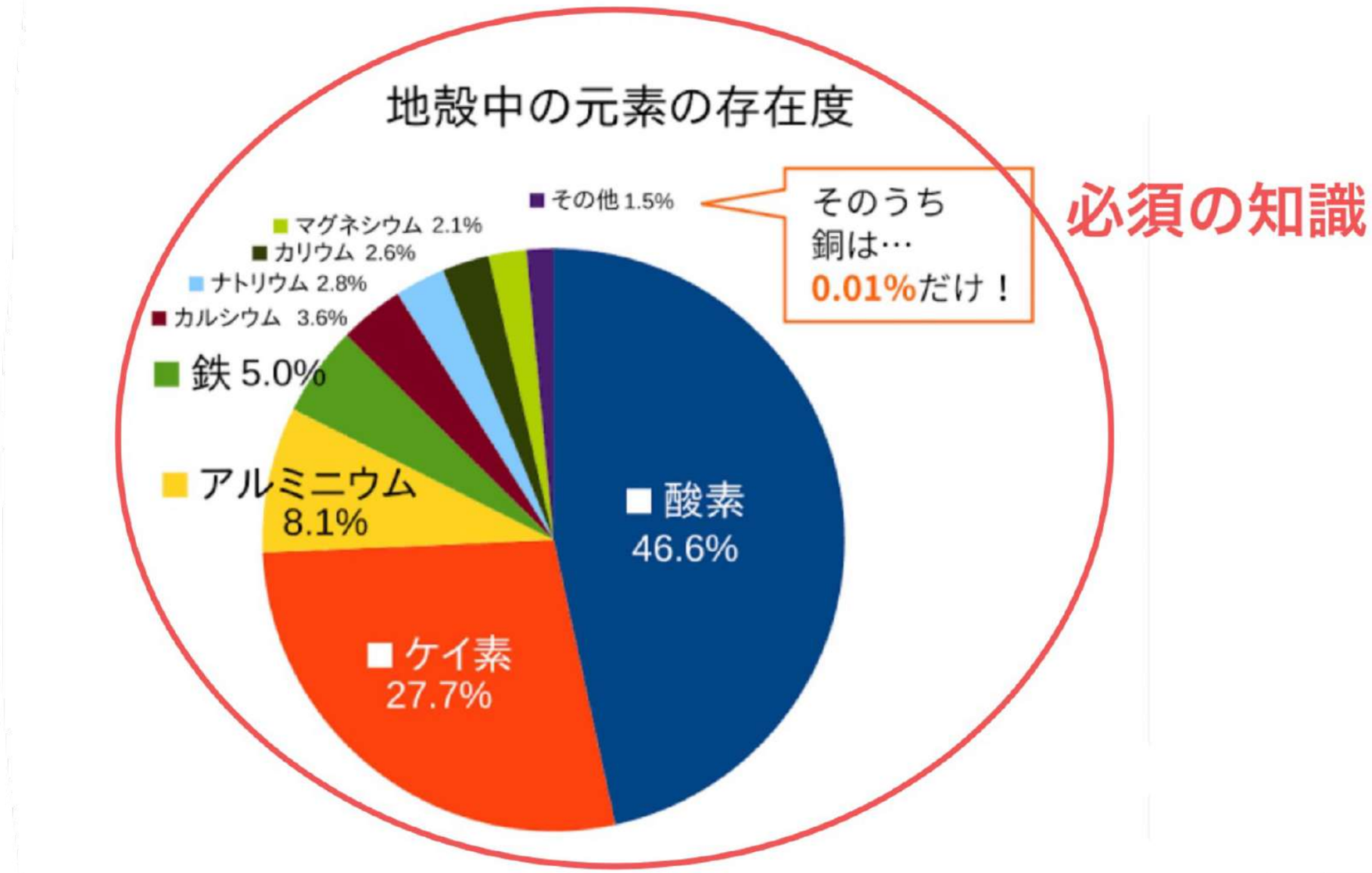
アルミニウムのあれこれ

常識的な知識

その利用は銅;紀元前9000年頃から

鉄;紀元前3000年頃から

なのに、アルミ;1825年頃に始めて⁉


地殻中の元素の存在度
■その他 1.5%
そのうち
銅は…
0.01%だけ！
■マグネシウム 2.1%
■カリウム 2.6%
■ナトリウム 2.8%
■カルシウム 3.6%
■鉄 5.0%
■アルミニウム
8.1%
■酸素
46.6%
■ケイ素
27.7%

必須の知識

銅→青銅→鉄→アルミの順です

1、銅は自然銅と言った形でも産出するからこれが最初(１万年の歴史があるらしい)

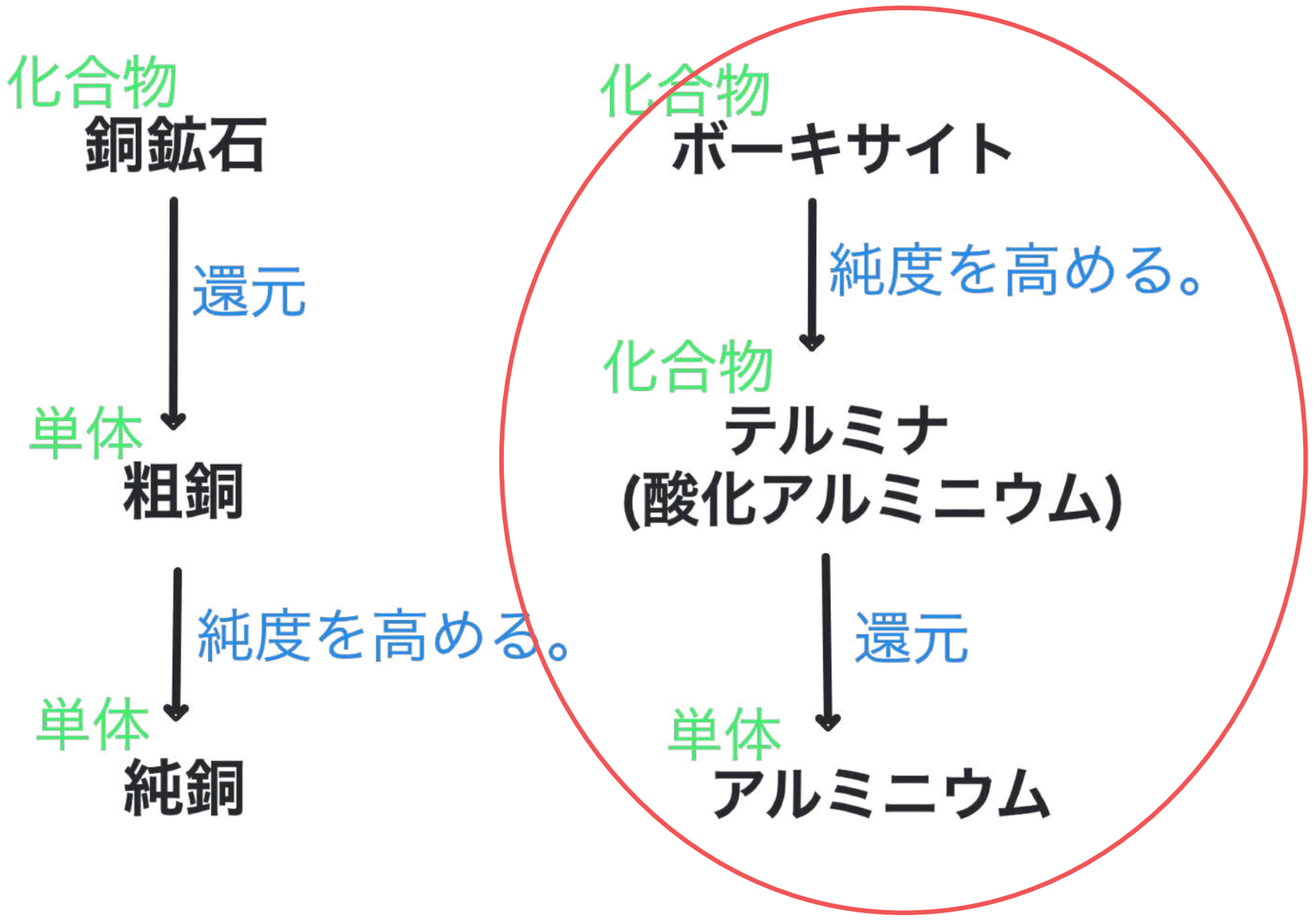
2、青銅はそもそも銅がないと作れない

3、鉄は銅に比べ相当高温でないと作れないので冶金技術の発展が必要だった

4、アルミはそもそも普通の冶金では作れず、溶融電気分解という新たな技術を待つしかなかった

化合物
銅鉱石
↓ 還元
単体
粗銅
↓ 純度を高める。
単体
純銅

化合物
ボーキサイト
↓ 純度を高める。
化合物
テルミナ
(酸化アルミニウム)
↓ 還元
単体
アルミニウム


化合物
銅鉱石
還元
単体
粗銅
純度を高める。
単体
純銅
化合物
ボーキサイト
純度を高める。
化合物
テルミナ
(酸化アルミニウム)
還元
単体
アルミニウム

3－3　アルミニウムの製錬

◎1～6行目＋問1、問2、問3　アルミニウムの融解塩電解（溶融塩電解）

【step1】$Al_2O_3+2NaOH+3H_2O \longrightarrow 2Na[Al(OH)_4]$（$Fe_2O_3$、$TiO_2$ は溶解せず沈殿する）

【step2】$Na[Al(OH)_4] \longrightarrow Al(OH)_3 + NaOH$

【step3】$2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2O_3+3H_2O$

【step4】1000 ℃程度で融解した氷晶石 $Na_3[AlF_6]$ にアルミナ Al_2O_3 を溶かす。

【step5】

陰極反応（還元反応）	**問3（ｉ）の解答：上記の通り。**
陽極反応（酸化反応）	➡実際には後述の平衡反応によって、大部分がＣＯになっている。 **問3（ii）の解答；上記の通り。**

問1の解答；（A）NaOH、（B）$Na[Al(OH)_4]$、（C）$Al(OH)_3$、（D）、（E）Fe_2O_3、TiO_2

問2（１）の解答；$Na_3[AlF_6]$

化合物
ボーキサイト
↓ 純度を高める。
化合物
テルミナ
(酸化アルミニウム)
↓ 還元
単体
アルミニウム

3－3　アルミニウムの製錬

◎1～6行目＋問1、問2、問3　アルミニウムの融解塩電解（溶融塩電解）

【step1】$Al_2O_3+2NaOH+3H_2O \longrightarrow 2Na[Al(OH)_4]$（$Fe_2O_3$、$TiO_2$ は溶解せず沈殿する）

【step2】$Na[Al(OH)_4] \longrightarrow Al(OH)_3 + NaOH$

【step3】$2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2O_3+3H_2O$

【step4】1000 ℃程度で融解した氷晶石 $Na_3[AlF_6]$ にアルミナ Al_2O_3 を溶かす。

【step5】

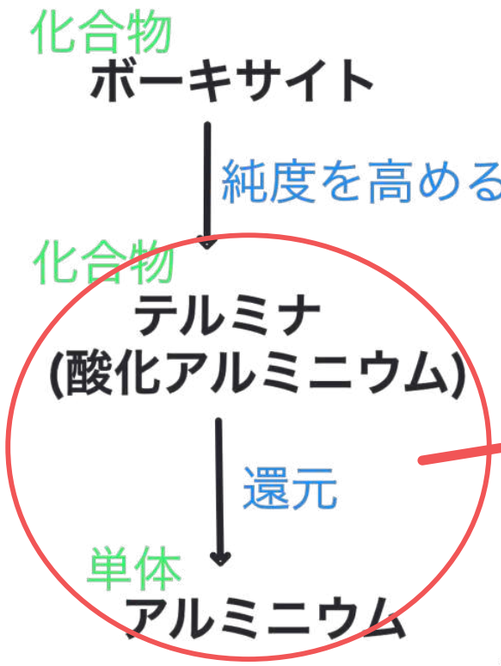
陰極反応（還元反応）	
陽極反応（酸化反応）	➡実際には後述の平衡反応によって、大部分がＣＯになっている。

問3（ｉ）の解答：上記の通り。

問3（ii）の解答；上記の通り。

問1の解答；（A）NaOH、（B）$Na[Al(OH)_4]$、（C）$Al(OH)_3$、（D）、（E）Fe_2O_3、TiO_2

問2（１）の解答；$Na_3[AlF_6]$



3-3　アルミニウムの製錬

◎1～6行目＋問1、問2、問3　アルミニウムの融解塩電解(溶融塩電解)

【step1】$Al_2O_3+2NaOH+3H_2O \longrightarrow 2Na[Al(OH)_4]$（$Fe_2O_3$、$TiO_2$ は溶解せず沈殿する）

【step2】$Na[Al(OH)_4] \longrightarrow Al(OH)_3 + NaOH$

【step3】$2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2O_3+3H_2O$

【step4】1000 ℃程度で融解した氷晶石 $Na_3[AlF_6]$にアルミナ Al_2O_3 を溶かす。

【step5】

陰極反応(還元反応)	
	問3(ⅰ)の解答:上記の通り。
陽極反応(酸化反応)	➡実際には後述の平衡反応によって、大部分がＣＯになっている。
	問3(ⅱ)の解答;上記の通り。

問1の解答:(A)NaOH、(B)$Na[Al(OH)_4]$、(C)$Al(OH)_3$、(D)、(E)Fe_2O_3、TiO_2

問2(1)の解答:$Na_3[AlF_6]$

3－3　アルミニウムの製錬

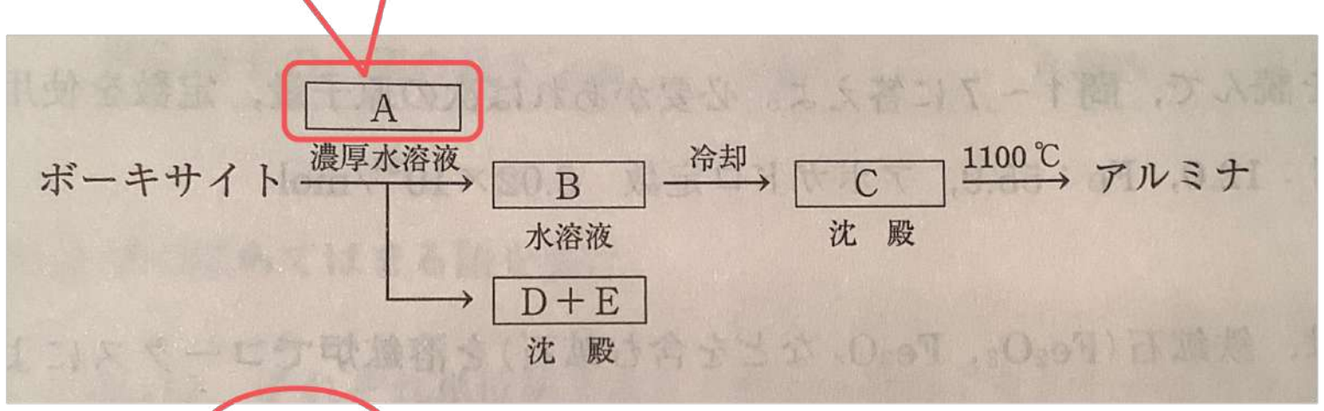
◎1～6行目＋問1、問2、問3　アルミニウムの融解塩電解（溶融塩電解）

【step1】 $Al_2O_3+2NaOH+3H_2O \longrightarrow 2Na[Al(OH)_4]$ （Fe_2O_3、TiO_2 は溶解せず沈殿する）

【step2】 $Na[Al(OH)_4] \longrightarrow Al(OH)_3 + NaOH$

【step3】 $2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2O_3+3H_2O$

【step4】 1000 ℃程度で融解した氷晶石 $Na_3[AlF_6]$ にアルミナ Al_2O_3 を溶かす。



問1の解答：（A）$NaOH$、（B）$Na[Al(OH)_4]$、（C）$Al(OH)_3$、（D）、（E）Fe_2O_3、TiO_2

3－3　アルミニウムの製錬

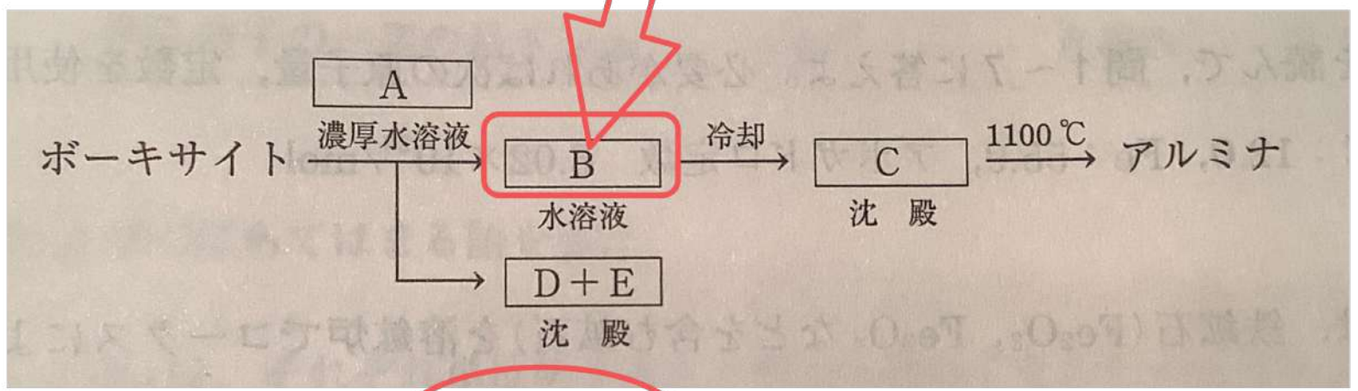
◎1～6行目＋問1、問2、問3　アルミニウムの融解塩電解（溶融塩電解）

【step1】$Al_2O_3+2NaOH+3H_2O \longrightarrow 2Na[Al(OH)_4]$（$Fe_2O_3$、$TiO_2$ は溶解せず沈殿する）

【step2】$Na[Al(OH)_4] \longrightarrow Al(OH)_3 + NaOH$

【step3】$2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2O_3+3H_2O$

【step4】1000 ℃程度で融解した氷晶石 $Na_3[AlF_6]$ にアルミナ Al_2O_3 を溶かす。



問1の解答：（A）NaOH、（B）$Na[Al(OH)_4]$、（C）$Al(OH)_3$、（D）、（E）Fe_2O_3、TiO_2

3－3　アルミニウムの製錬

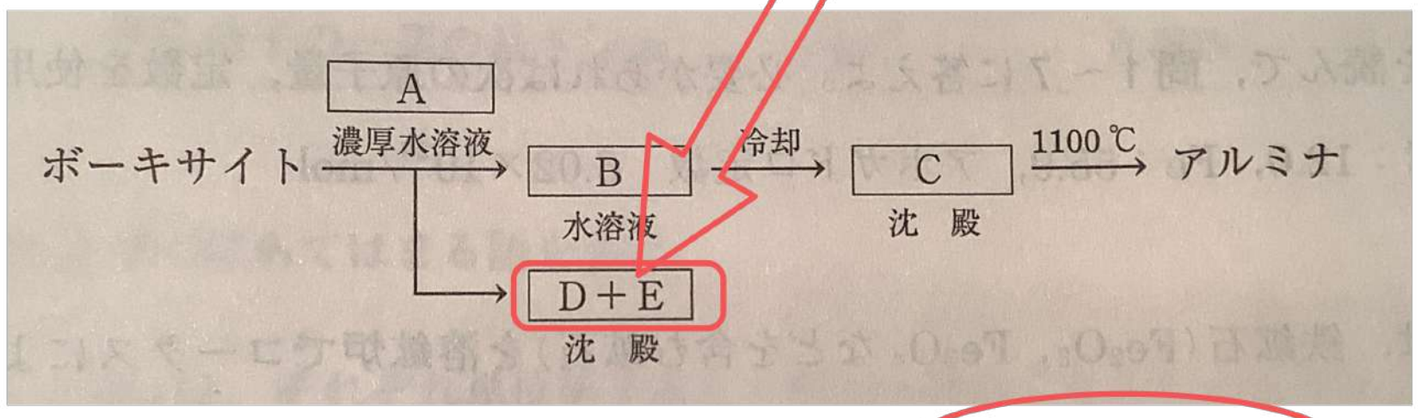
◎1～6行目＋問1、問2、問3　アルミニウムの融解塩電解（溶融塩電解）

【step1】$Al_2O_3+2NaOH+3H_2O \longrightarrow 2Na[Al(OH)_4]$（$Fe_2O_3$、$TiO_2$ は溶解せず沈殿する）

【step2】$Na[Al(OH)_4] \longrightarrow Al(OH)_3 + NaOH$

【step3】$2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2O_3+3H_2O$

【step4】1000 ℃程度で融解した氷晶石 $Na_3[AlF_6]$ にアルミナ Al_2O_3 を溶かす。



問1の解答：（A）NaOH、（B）$Na[Al(OH)_4]$、（C）$Al(OH)_3$、（D）、（E）Fe_2O_3、TiO_2

3－3　アルミニウムの製錬

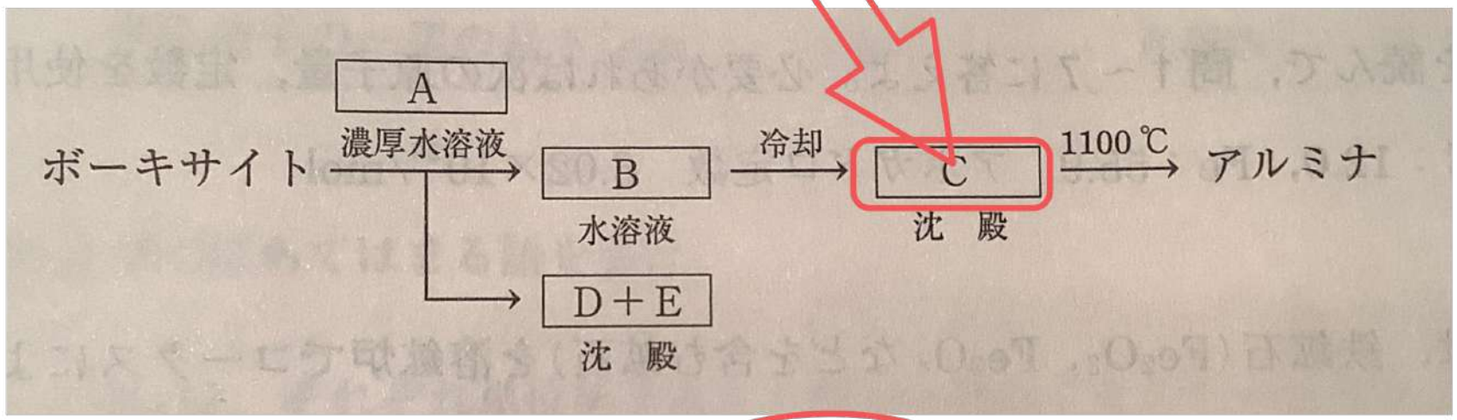
◎1～6行目＋問1、問2、問3　アルミニウムの融解塩電解（溶融塩電解）

【step1】$Al_2O_3+2NaOH+3H_2O \longrightarrow 2Na[Al(OH)_4]$（$Fe_2O_3$、$TiO_2$ は溶解せず沈殿する）

【step2】$Na[Al(OH)_4] \longrightarrow Al(OH)_3 + NaOH$

【step3】$2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2O_3+3H_2O$

【step4】1000 ℃程度で融解した氷晶石 $Na_3[AlF_6]$ にアルミナ Al_2O_3 を溶かす。



問1の解答：（A）$NaOH$、（B）$Na[Al(OH)_4]$、（C）$Al(OH)_3$、（D）、（E）Fe_2O_3、TiO_2

3－3　アルミニウムの製錬

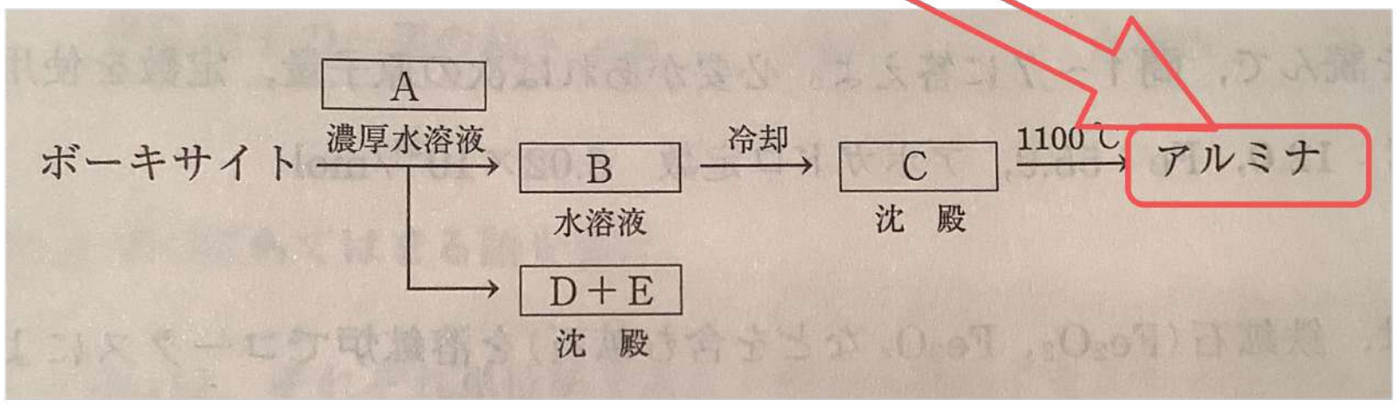
◎1～6行目＋問1、問2、問3　アルミニウムの融解塩電解（溶融塩電解）

【step1】$Al_2O_3+2NaOH+3H_2O \longrightarrow 2Na[Al(OH)_4]$（$Fe_2O_3$、$TiO_2$ は溶解せず沈殿する）

【step2】$Na[Al(OH)_4] \longrightarrow Al(OH)_3 + NaOH$

【step3】$2Al(OH)_3 \longrightarrow Al_2O_3+3H_2O$

【step4】1000 ℃程度で融解した氷晶石 $Na_3[AlF_6]$にアルミナ Al_2O_3 を溶かす。



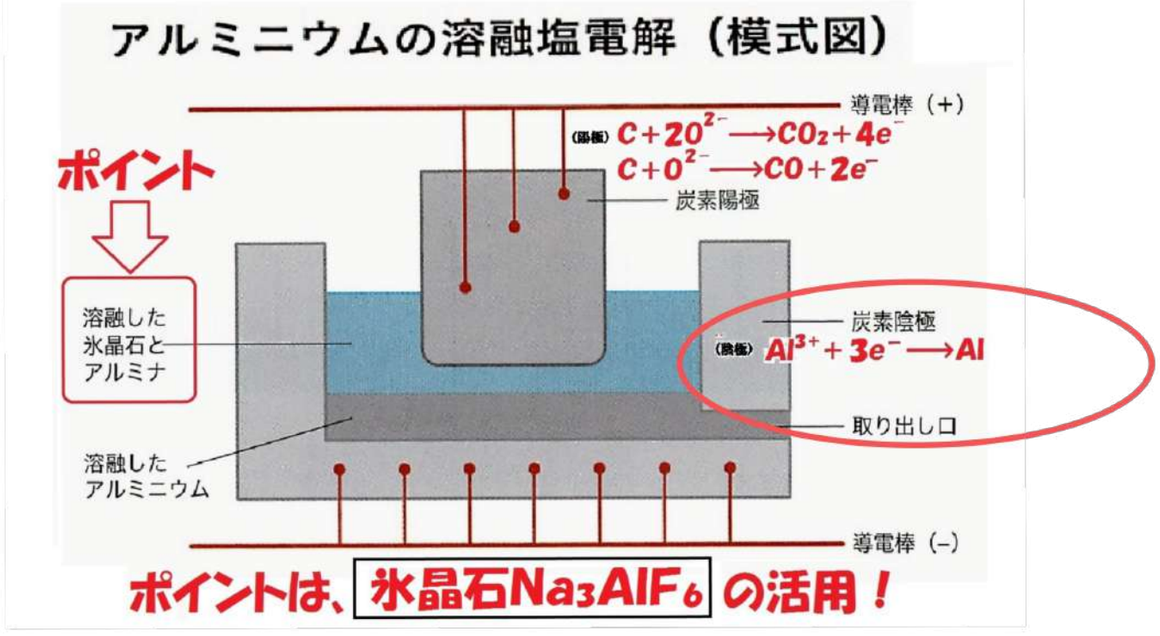
問1の解答：（A）$NaOH$、（B）$Na[Al(OH)_4]$、（C）$Al(OH)_3$、（D）、（E）Fe_2O_3、TiO_2

【step5】

陰極反応(還元反応)	$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$
陽極反応(酸化反応)	$C + 2O^{2-} \longrightarrow CO_2 + 4e^-$ ➡実際には後述の平衡反応によって、大部分がＣＯになっている。

問3(ｉ)の解答;上記の通り。

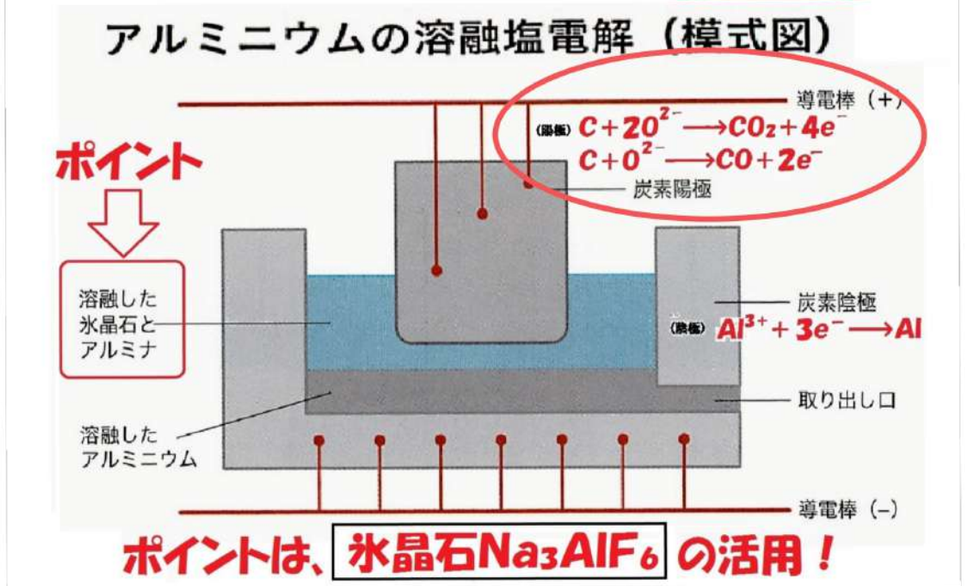
問3(ii)の解答;上記の通り。



問2(１)の解答;$Na_3[AlF_6]$

【step5】

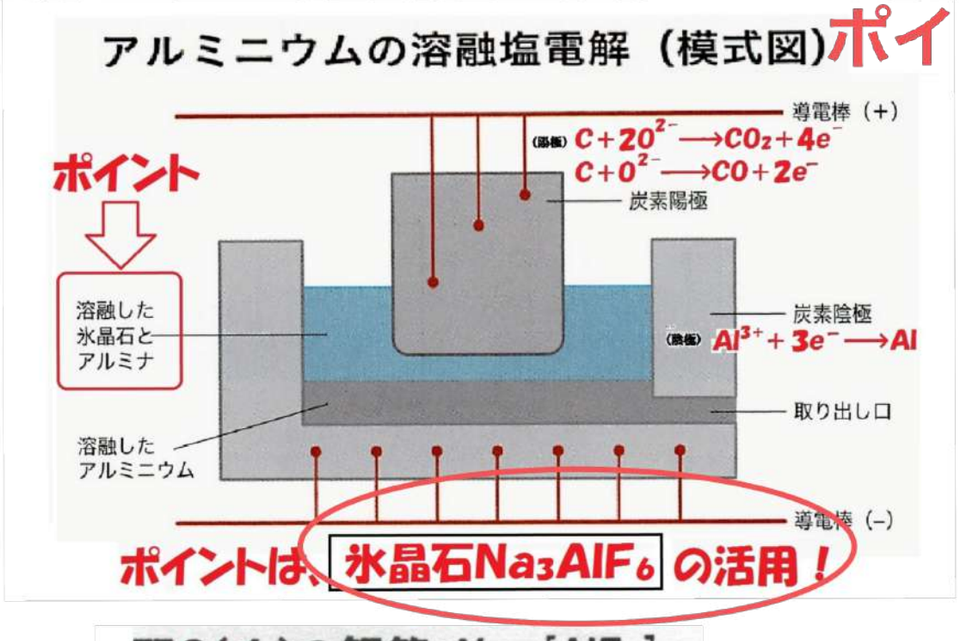
陰極反応(還元反応)	$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$
	問3(i)の解答;上記の通り。
陽極反応(酸化反応)	$C + 2O^{2-} \longrightarrow CO_2 + 4e^-$
	➡実際には後述の平衡反応によって、大部分がCOになっている。
	問3(ii)の解答;上記の通り。



問2(1)の解答;$Na_3[AlF_6]$

【step5】

陰極反応(還元反応)	$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$
	問3(i)の解答:上記の通り。
陽極反応(酸化反応)	$C + 2O^{2-} \longrightarrow CO_2 + 4e^-$ ➡実際には後述の平衡反応によって、大部分がCOになっている。
	問3(ii)の解答;上記の通り。

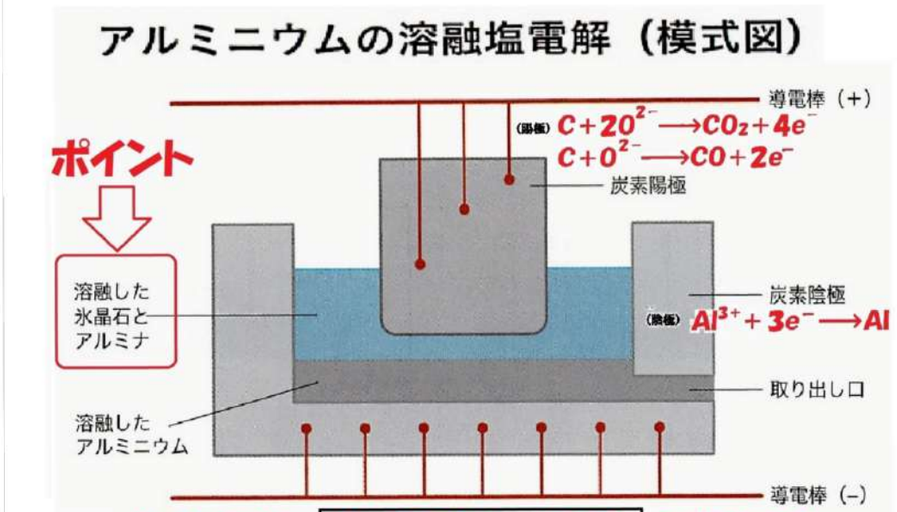


問2(1)の解答;$Na_3[AlF_6]$

ポイントはC電極の消耗
問4(2)

【step5】

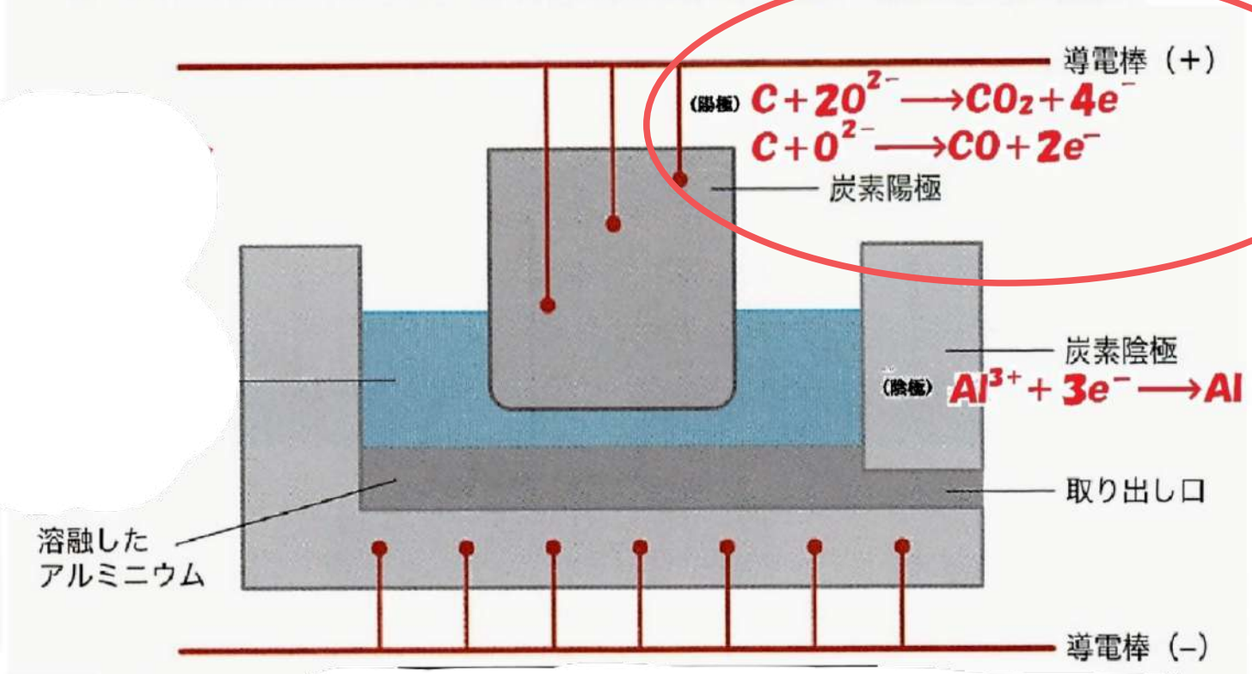
陰極反応(還元反応)	$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$ **問3(ⅰ)の解答:上記の通り。**
陽極反応(酸化反応)	$C + 2O^{2-} \longrightarrow CO_2 + 4e^-$ ➡実際には後述の平衡反応によって、大部分がＣＯになっている。 **問3(ⅱ)の解答;上記の通り。**



問2(１)の解答;$Na_3[AlF_6]$

次はここに焦点を当てて。

アルミニウムの溶融塩電解（模式図）



◎6～16行目＋問1、問2、問4　COとCO$_2$の平衡（Alの融解塩電解における陽極での平衡）

平衡の式

反応熱

反応熱＝（右辺の生成熱の和）－（左辺の生成熱の和）

ただし、図より、CO$_2$（気）の生成熱＝［　　］kJ/mol ←**問2（a）の解答**

CO（気）の生成熱＝［　　］kJ/mol ←**問2（b）の解答**

よって、Q＝［　　］←**問2（c）の解答**

◎6～16行目＋問1、問2、問4　COとCO₂の平衡（Alの融解塩電解における陽極での平衡）

平衡の式

$$CO_2(気) + C(固) \rightleftarrows 2CO(気) + Q\,kJ$$

反応熱

反応熱＝（右辺の生成熱の和）－（左辺の生成熱の和）

ただし、図より、CO_2（気）の生成熱＝[　　] kJ/mol **←問2（a）の解答**

CO（気）の生成熱＝［　　］kJ/mol **←問2（b）の解答**

よって、Q＝［　　］**←問2（c）の解答**

◎6～16行目＋問1、問2、問4　COとCO₂の平衡（Alの融解塩電解における陽極での平衡）

平衡の式

$$CO_2(気) + C(固) \rightleftarrows 2CO(気) + Q\,kJ$$

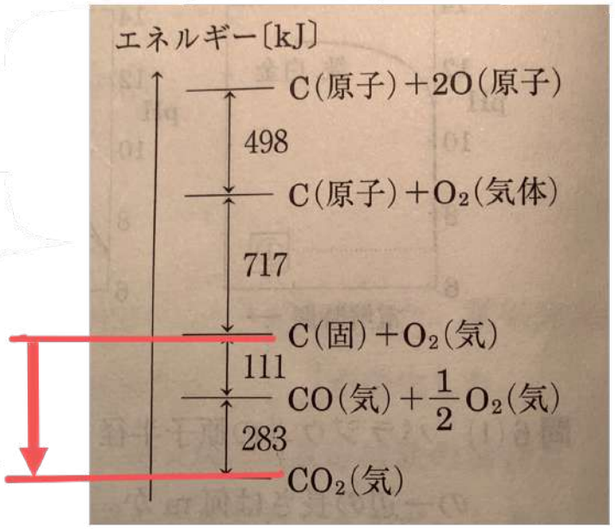
反応熱

反応熱＝（右辺の生成熱の和）－（左辺の生成熱の和）

ただし、図より、CO_2（気）の生成熱＝[111+283=394] kJ/mol ←問2（a）の解答

CO（気）の生成熱＝［　　］kJ/mol ←問2（b）の解答

よって、Q＝［　　］←問2（c）の解答



◎6～16行目＋問1、問2、問4　COとCO₂の平衡（Alの融解塩電解における陽極での平衡）

平衡の式

$$CO_2(気) + C(固) \rightleftarrows 2CO(気) + Q\,kJ$$

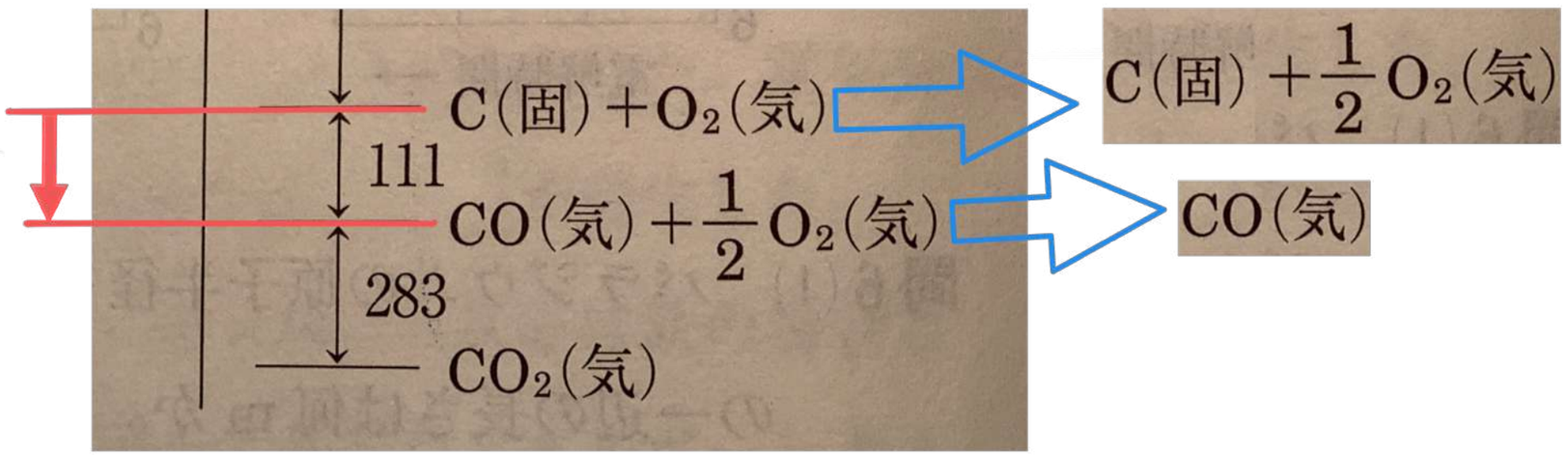
反応熱

反応熱＝（右辺の生成熱の和）－（左辺の生成熱の和）

ただし、図より、CO_2（気）の生成熱＝[111+283=394] kJ/mol ←問2（a）の解答

CO（気）の生成熱＝[111] kJ/mol ←問2（b）の解答

よって、Q＝[ ] ←問2（c）の解答



◎6～16行目＋問1、問2、問4　COとCO_2の平衡（Alの融解塩電解における陽極での平衡）

平衡の式

$$CO_2(気) + C(固) \rightleftarrows 2CO(気) + Q\,kJ$$

反応熱

反応熱＝（右辺の生成熱の和）－（左辺の生成熱の和）

ただし、図より、CO_2（気）の生成熱＝[111+283=394] kJ/mol ←問2（a）の解答

CO（気）の生成熱＝[111] kJ/mol ←問2（b）の解答

よって、Q＝[2×111−394=−172] ←問2（c）の解答

平衡定数

この反応の平衡定数は、温度を高くしたとき、[　　]。**←問2{ア}の解答:①**

	温度を上げる	温度を下げる
発熱反応	Kの値は減少する。	Kの値は増大する。
吸熱反応	Kの値は増大する。	Kの値は減少する。

平衡定数の計算(問4(ⅰ))

問4(ⅰ)の解答:2.30×10^{6} Pa

平衡定数

この反応の平衡定数は、温度を高くしたとき、[　　]。**←問2{ア}の解答:①**

	温度を上げる	温度を下げる
発熱反応	Kの値は減少する。	Kの値は増大する。
吸熱反応	Kの値は増大する。	Kの値は減少する。

平衡定数の計算(問4(ⅰ))

問4(ⅰ)の解答:2.30×10^{6} Pa

平衡定数

この反応の平衡定数は、温度を高くしたとき、[大きくなる]。←問2{ア}の解答:①

	温度を上げる	温度を下げる
発熱反応	Kの値は減少する。	Kの値は増大する。
吸熱反応	Kの値は増大する。	Kの値は減少する。

平衡定数の計算(問4(ⅰ))

問4(ⅰ)の解答:2.30×10^{6} Pa

平衡定数

この反応の平衡定数は、温度を高くしたとき、[**大きくなる**]。←問2{ア}の解答;①

	温度を上げる	温度を下げる
発熱反応	Kの値は減少する。	Kの値は増大する。
吸熱反応	Kの値は増大する。	Kの値は減少する。

平衡定数の計算(問4(ｉ))

$$K_p=\frac{p_{CO}^2}{p_{CO_2}}=\frac{\left(1.00\times10^5\times\frac{96.0}{100}\right)^2}{1.00\times10^5\times\frac{4.0}{100}}=2.304\times10^6\ \text{Pa}$$

問4(ｉ)の解答;2.30×10^6 Pa

◎1～16行目＋問4　Alの生成量とCの消費量

CO_2の生成量は？

Cの消費量は？

バランスシート	量的関係	結論

問4（ii）の解答：208 g

$$Al^{3+} + 3e^- \longrightarrow Al$$

$$C + 2O^{2-} \longrightarrow CO_2 + 4e^-$$

◎1～16行目＋問4　Alの生成量とCの消費量

CO_2の生成量は？

$$\frac{324}{27} \times 3 \times \frac{1}{4} = 9 \text{ mol}$$

Cの消費量は？

バランスシート	量的関係	結論

問4（ii）の解答；208 g

◎1～16行目＋問4　Alの生成量とCの消費量

CO_2の生成量は？

$$\frac{324}{27}\times 3\times\frac{1}{4}=9\ \text{mol}$$

Cの消費量は？

バランスシート

$$CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$$

9	多量	0
$-x$	$-x$	$+2x$
$9-x$		$2x$

気体の合計$=9+x$

量的関係

結論

問4（ii）の解答：208 g

◎1～16行目＋問4　Alの生成量とCの消費量

CO_2の生成量は？

$$\frac{324}{27}\times 3\times\frac{1}{4}=9\ \text{mol}$$

Cの消費量は？

バランスシート

$$CO_2 + C \rightleftharpoons 2CO$$

9	多量	0
$-x$	$-x$	$+2x$
$9-x$		$2x$

気体の合計$=9+x$

量的関係

$$\frac{2x}{9+x}=\frac{96.0}{100}$$

$$x=8.307\ \text{mol}$$

結論

問4(ii)の解答：208 g

◎1～16行目＋問4　Alの生成量とCの消費量

CO_2の生成量は？

$$\frac{324}{27}\times 3\times\frac{1}{4}=9\ \text{mol}$$

Cの消費量は？

バランスシート

	CO_2	+ C	$\rightleftharpoons$	2CO
	9	多量		0
	$-x$	$-x$		$+2x$
	$9-x$			$2x$

気体の合計$=9+x$

量的関係

$$\frac{2x}{9+x}=\frac{96.0}{100}$$

$x=8.307$ mol

結論

消費されたCは

$(9+x)\times 12$

$=207.6$ g

問4(ii)の解答：208 g

さて、残った問題を片付けましょう。

◎17行目以降＋問2　COの構造

❶ CO_2のC＝O結合ｴﾈﾙｷﾞｰ

⬆問2(d)の解答

❷ COのC－O結合ｴﾈﾙｷﾞｰ

⬆問2(e)の解答

❶＜❷

推定されるCOの結合

問2{イ}の解答;③

推定されるCOの電子式

⬆問2(2)の解答

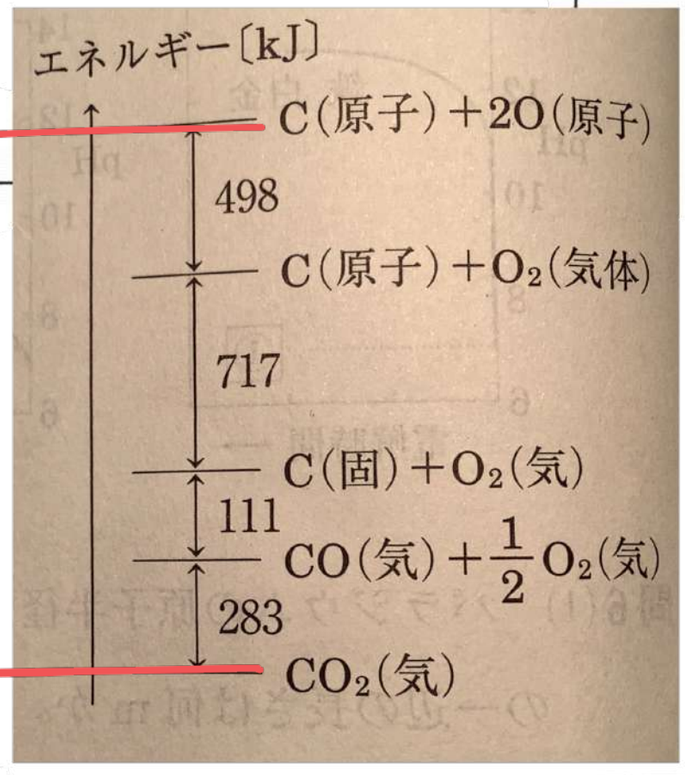
◎17行目以降＋問2　COの構造

❶ CO_2のC＝O結合エネルギー

$$\frac{498+717+111+283}{2}=804.5\ \text{kJ}$$

⬆問2(d)の解答

❷ COのC－O結合エネルギー



❶＜❷

推定されるCOの結合

問2{イ}の解答：③

推定されるCOの電子式

⬆問2(2)の解答

◎17行目以降＋問2　COの構造

❶ CO_2のC＝O結合エネルギー

$$\frac{498+717+111+283}{2}=804.5\ \text{kJ}$$

⬆問2(d)の解答

❷ COのC－O結合エネルギー

$$\frac{1}{2}\times 498+717+111=1077\ \text{kJ}$$

⬆問2(e)の解答

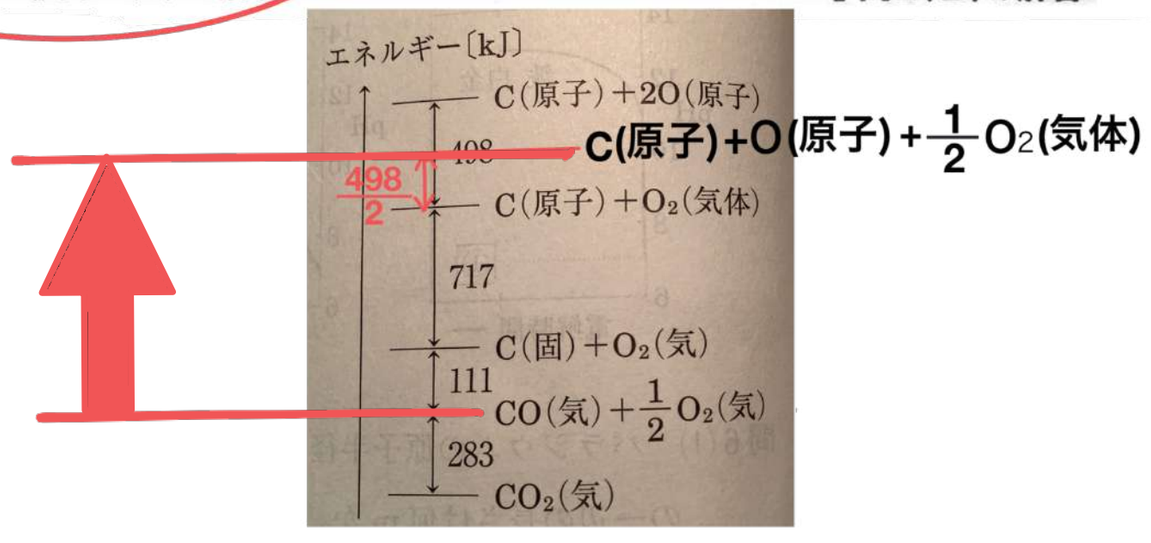
❶＜❷

推定されるCOの結合

問2{イ}の解答：③

推定されるCOの電子式

⬆問2(2)の解答



◎17行目以降＋問2　COの構造

❶ CO_2のC＝O結合エネルギー

$$\frac{498+717+111+283}{2}=804.5\ \text{kJ}$$

⬆問2(d)の解答

❷ COのC－O結合エネルギー

$$\frac{1}{2}\times 498+717+111=1077\ \text{kJ}$$

⬆問2(e)の解答

❶＜❷

推定されるCOの結合

三重結合

問2{イ}の解答：③

推定されるCOの電子式

⬆問2(2)の解答

◎17行目以降＋問2　COの構造

❶ CO_2のC＝O結合エネルギー

$$\frac{498+717+111+283}{2}=804.5\ kJ$$

⬆問2(d)の解答

❷ COのC－O結合エネルギー

$$\frac{1}{2}\times 498+717+111=1077\ kJ$$

⬆問2(e)の解答

❶＜❷

推定されるCOの結合

三重結合

問2{イ}の解答;③

推定されるCOの電子式

:C:::O:

⬆問2(2)の解答