

**原子は不変なのに、結合の仕方によって  
物質の性質は変化します。  
化学変化とはこういったものでしょう。  
よって、化学の履修において、  
化学結合は重要なテーマなのです。**

# 電気陰性度と化学結合

## テーマ0

### (体験講座) 周期表～化学結合

⑦



非金属原子間の結合は共有結合！非金属-金属原子間の結合はイオン結合！

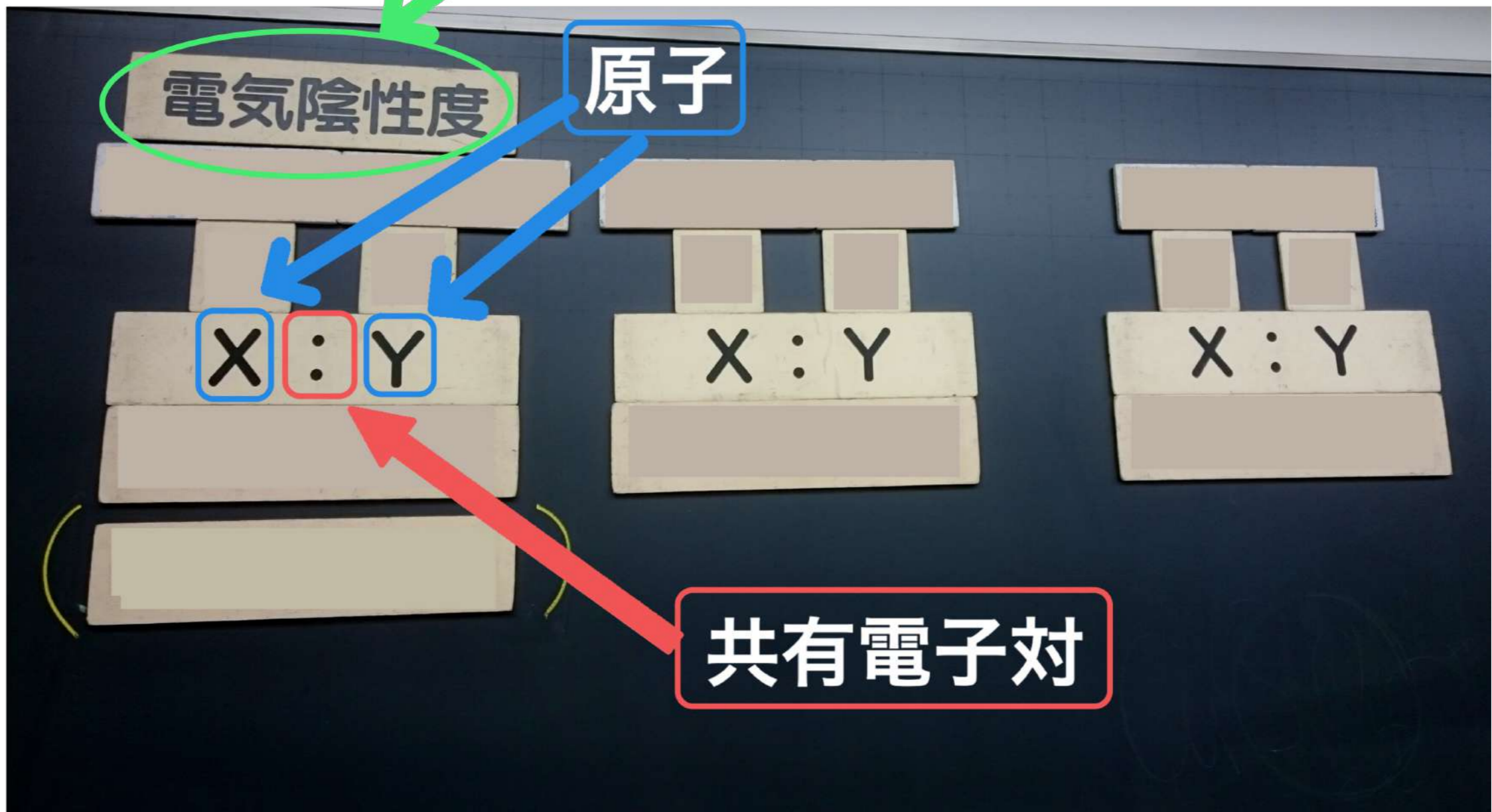
⑦ 電気陰性度の周期性を考えると、非金属は電気陰性度が大きく、結合に関与する電子対を引き付ける傾向が強い、金属は電気陰性度が小さく、結合に関与する電子対を引き付ける傾向が弱いということでした。すると、非金属原子間（両者が電子対を欲しがらる）では、原子どうしは結局は電子対を共有することでしょうね（共有結合）。、非金属原子と金属原子間（一方は電子対を欲しいよお、他方はあげるよ→一方は陰イオンに、他方は陽イオンになる）では、陽イオンと陰イオンの間での静電的な引力が働くでしょう（イオン結合）。金属原子間（両者が電子対を欲しがらない→金属原子は陽イオンに、放り出された電子対は自由電子になる）では、自由電子と陽イオンが静電的に引き合う（金属結合）ことでしょうね。

を参照。

電気陰性度って？

大きいか小さいか

共有電子対を引きつける強さの程度を数値で表したものの。



プリントに書き込んで下さい。



電気陰性度

大 大

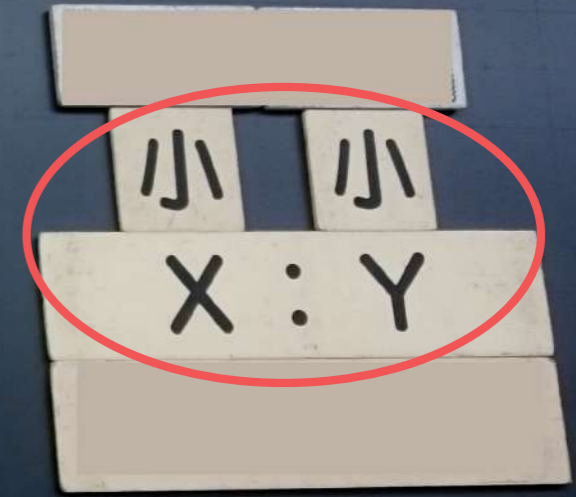
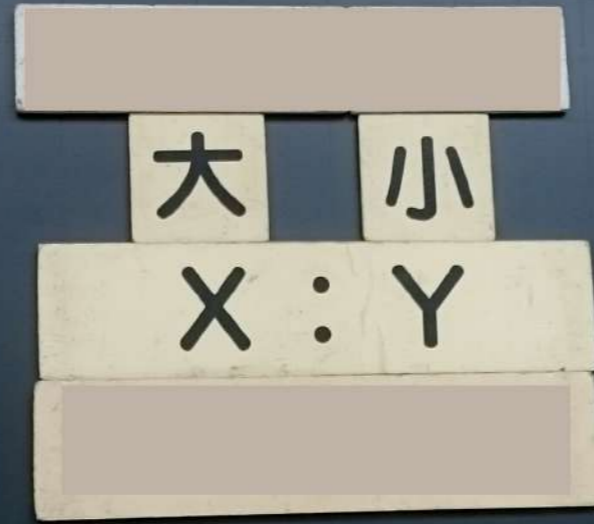
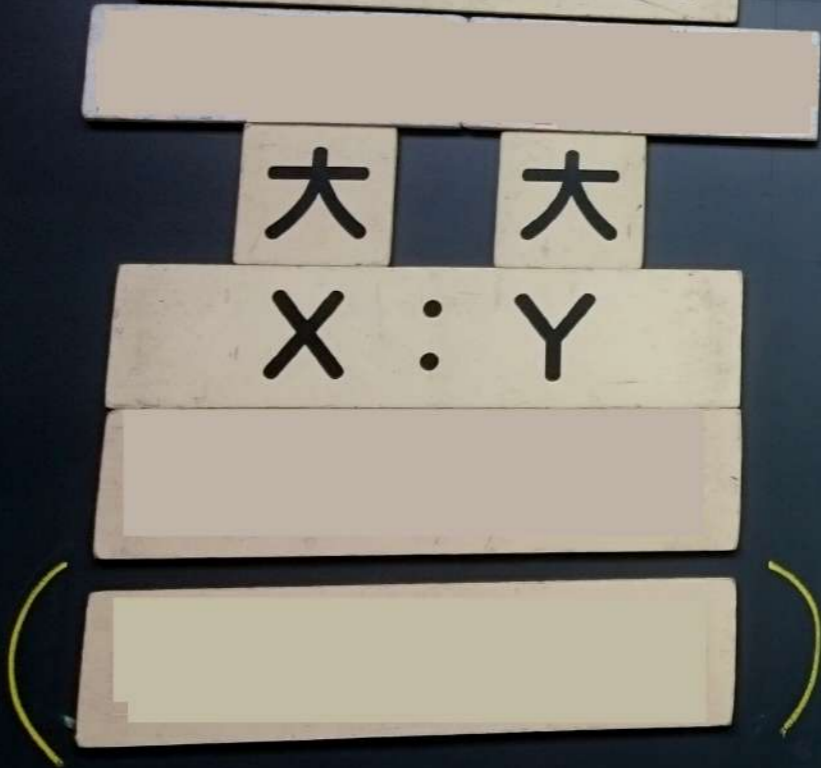
X : Y

大 小

X : Y

X : Y

# 電気陰性度



# 電氣陰性度

大 大

X : Y

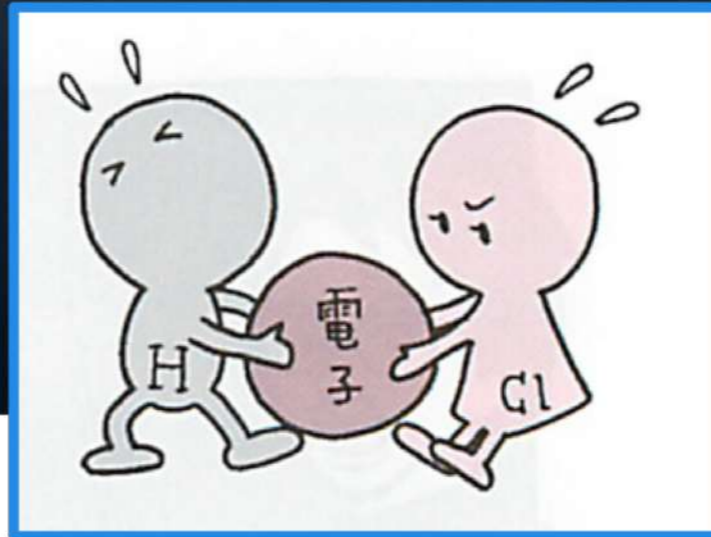
共有結合

大 小

X : Y

小 小

X : Y



# 電気陰性度

大 大

X : Y

共有結合

大 小

X : Y

イオン結合

小 小

X : Y





電気陰性度

大 大

X : Y

共有結合

大 小

X : Y

イオン結合

小 小

X : Y

金属結合



電気陰性度

非金属 非金属

大 大

X : Y

共有結合

大 小

X : Y

イオン結合

小 小

X : Y

金属結合

( )

電気陰性度

非金属 非金属

大 大

X : Y

共有結合

非金属 金属

大 小

X : Y

イオン結合

小 小

X : Y

金属結合

( )

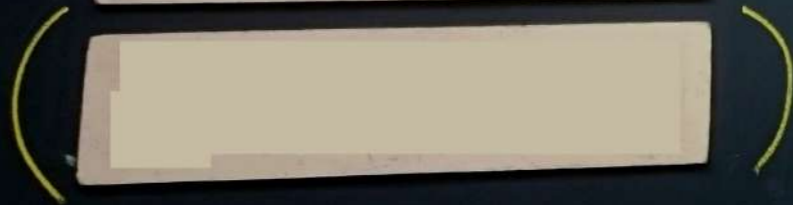
電気陰性度

非金属 非金属

大 大

X : Y

共有結合



非金属 金属

大 小

X : Y

イオン結合

金属 金属

小 小

X : Y

金属結合

# 電気陰性度と化学結合

電気陰性度

非金属どうし

大

大

X:Y

共有結合

非金属と金属

大

小

X:Y

イオン結合

金属どうし

小

小

X:Y

金属結合

( )

次の物質はどのような結合によって形成されている？

基本；NaCl、CH<sub>4</sub>、O<sub>2</sub>、Na、C(ダイヤモンド)、CaO

応用；Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>、Ca(OH)<sub>2</sub>

電気陰性度

非金属 非金属

大 大

X : Y

共有結合

配位結合

非金属 金属

大 小

X : Y

イオン結合

金属 金属

小 小

X : Y

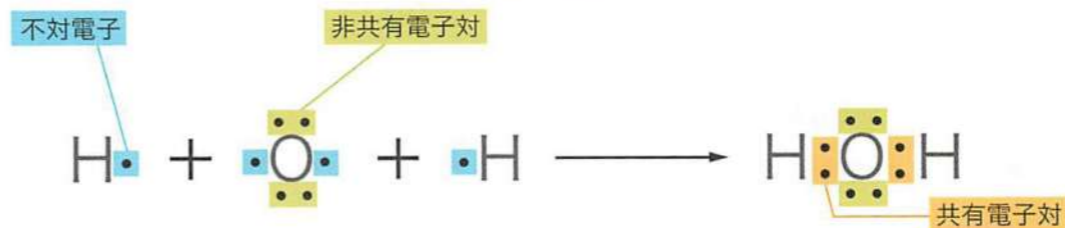
金属結合

電気陰性度

非金属	非金属	非金属	金属	金属	金属
大	大	大	小	小	小
X:Y		X:Y		X:Y	
共有結合		イオン結合		金属結合	
配位結合					

共有結合って？

非金属の原子どうしが不対電子を共有して生じる結合のこと。

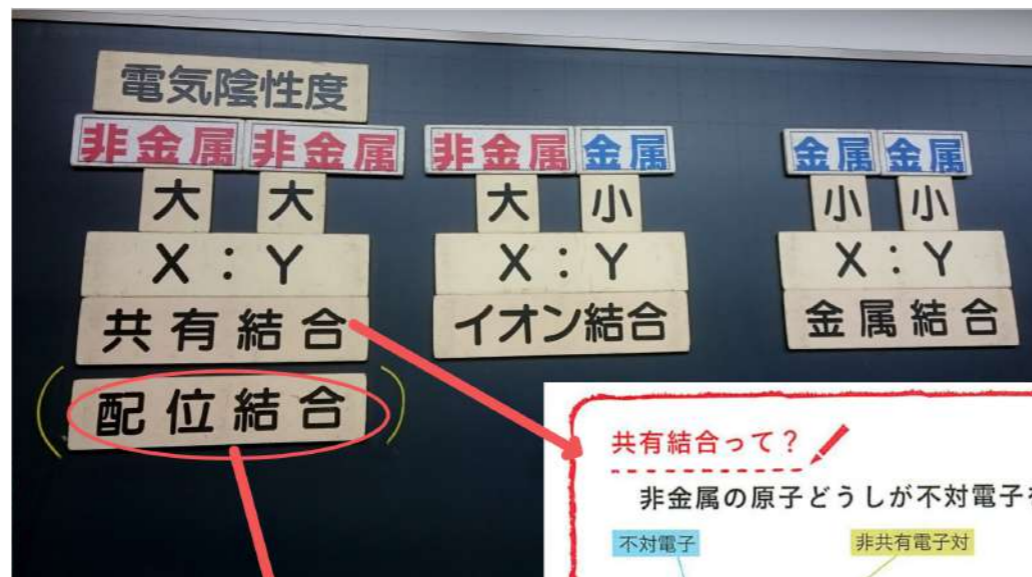


簡単に書き込もう。

共有結合って？

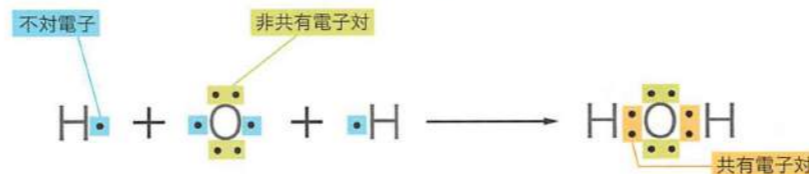
非金属の原子どうしが不対電子を共有して生じる結合のこと。





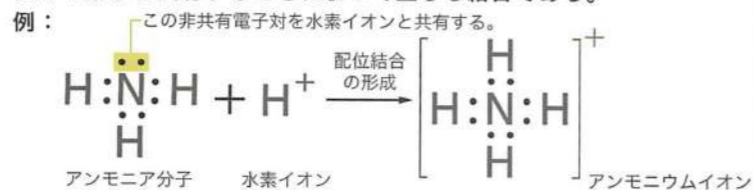
共有結合って？

非金属の原子どうしが不対電子を共有して生じる結合のこと。



配位結合とは？

配位結合は、一方の原子が非共有電子対を提供し、その電子対を他方の原子と共有することによって生じる結合である。



配位結合は、もともとある共有結合と区別できない！

簡単に書き込もう。

配位結合とは？

**一方の原子が非共有電子対を提供し、その電子対を他方の原子と共有することによって生じる結合のこと。**

# 電気陰性度と化学結合

電気陰性度

非金属どうし

大

大

X:Y

共有結合

配位結合

非金属と金属

大

小

X:Y

イオン結合

金属どうし

小

小

X:Y

金属結合

# 化学結合と結晶

## テーマ① 結晶

① 結合から結晶へ  
を参照。

### ●化学結合と結晶の種類



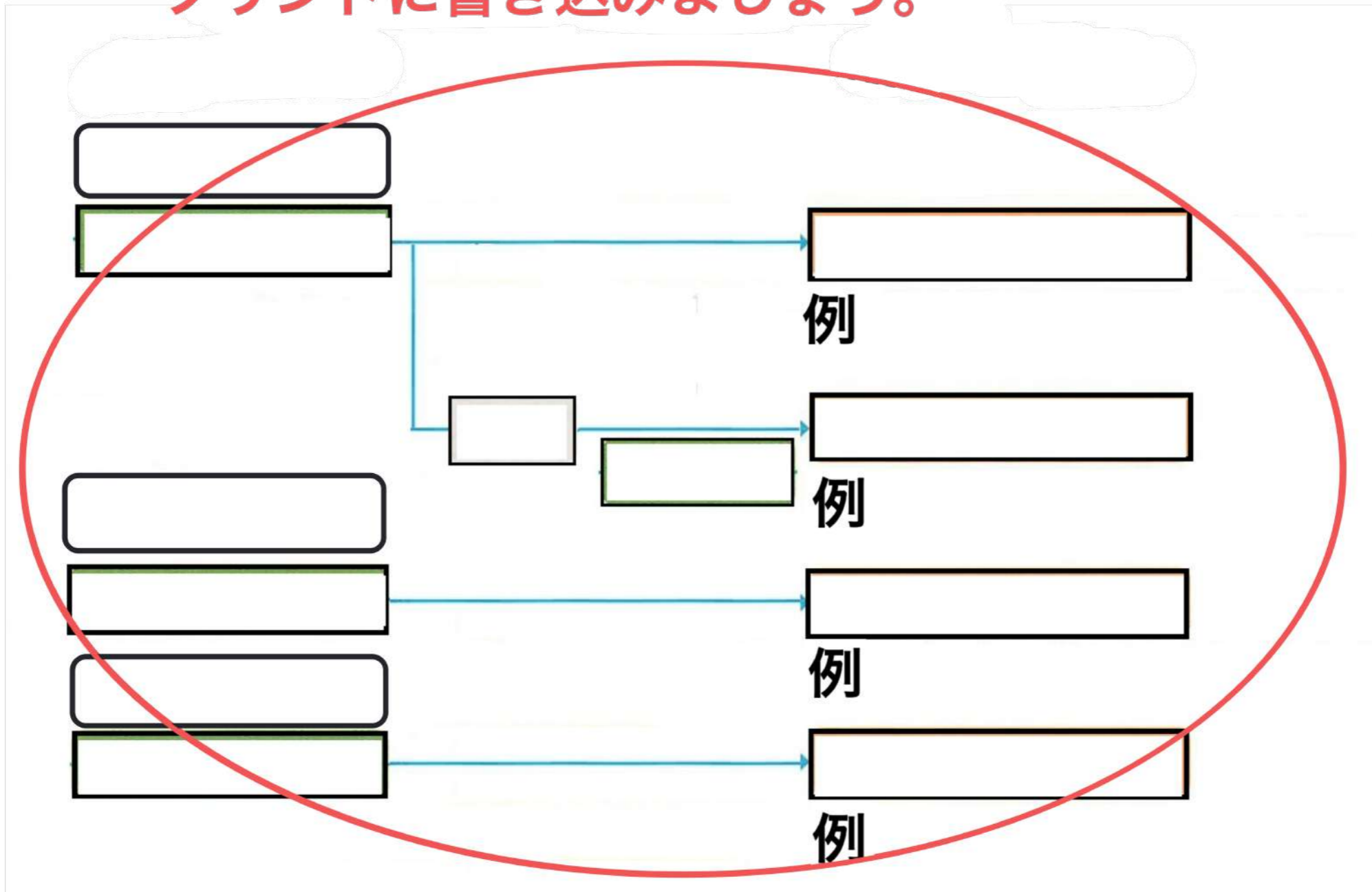
### 拡大

### ①結合から結晶へ

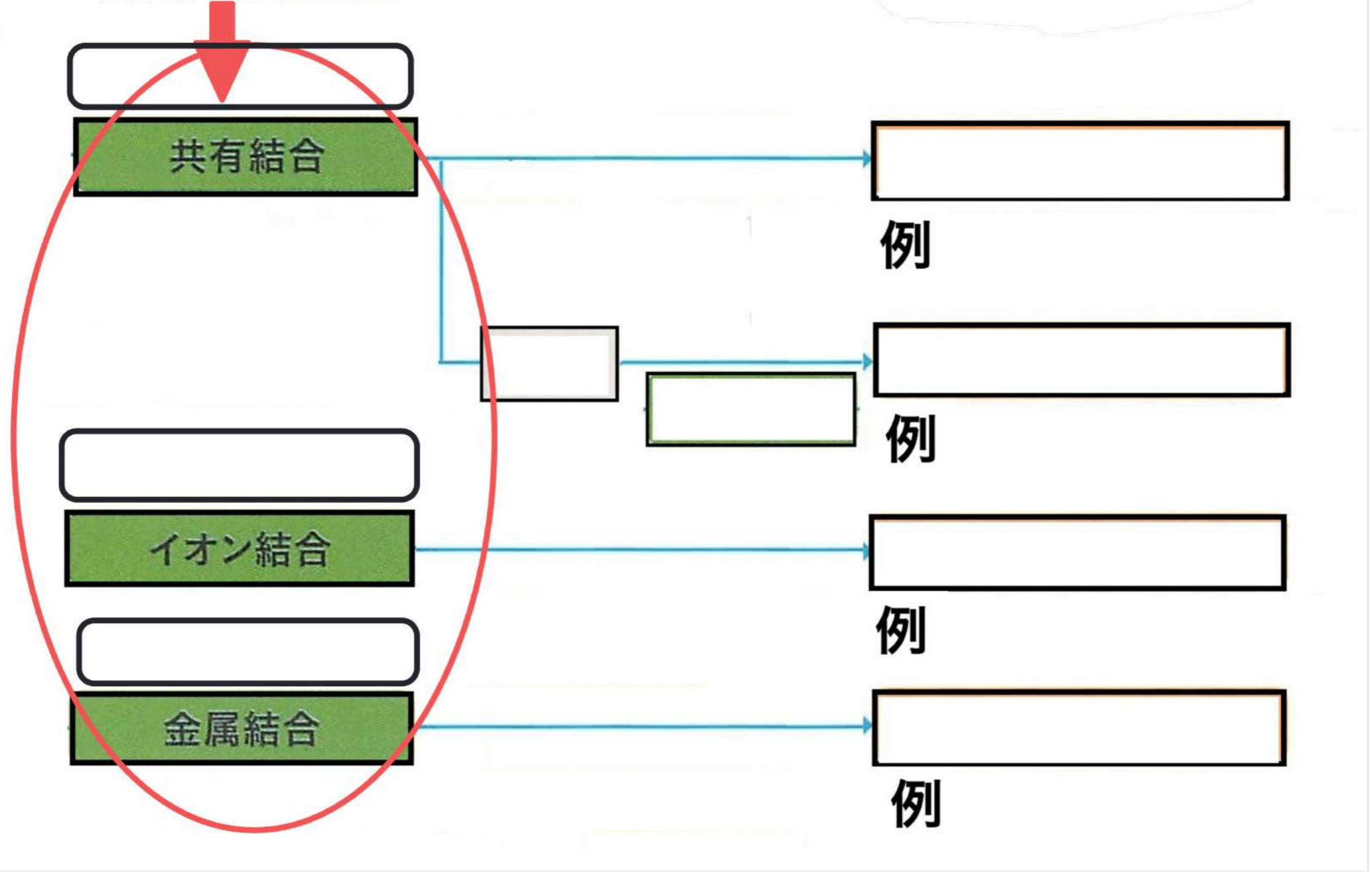
原子間の結合は「共有結合」、「イオン結合」、「金属結合」でしたが、共有結合で形成された分子間には、さらに、「分子間力」が働きます。ここでは、まず、これらの化学結合と結晶（構成粒子が規則正しく配列している固体）との対応について考えてみましょう。

# 化学結合と結晶

プリントに書き込みましょう。



# 原子間の 【結合の種類】



# 原子間の 【結合の種類】

共有結合

# 分子間の 【結合の種類】

分子

分子間力

イオン結合

金属結合

例

例

例

例

例

原子間の  
【結合の種類】

[ ]  
共有結合

[ ]  
イオン結合

[ ]  
金属結合

分子間の  
【結合の種類】

分子

分子間力

【結晶の種類】

共有結合の結晶  
例

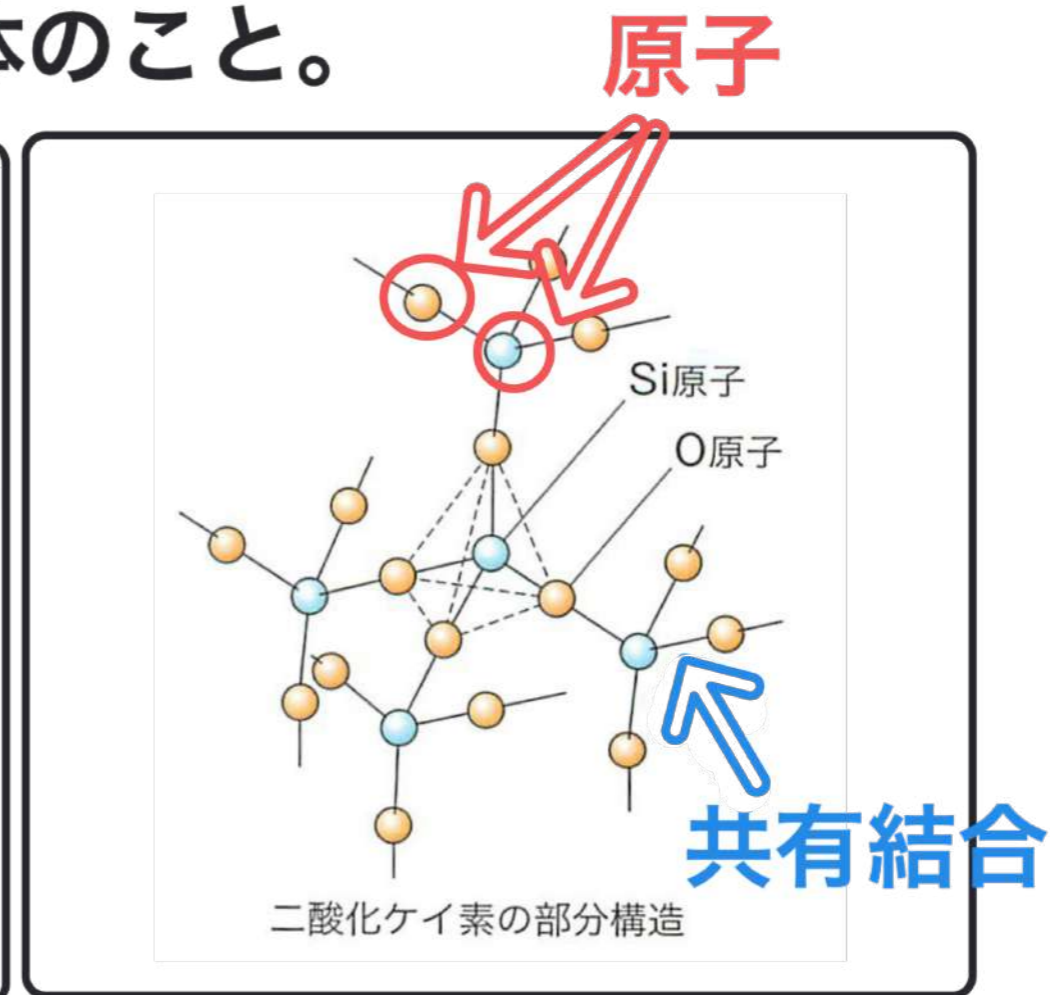
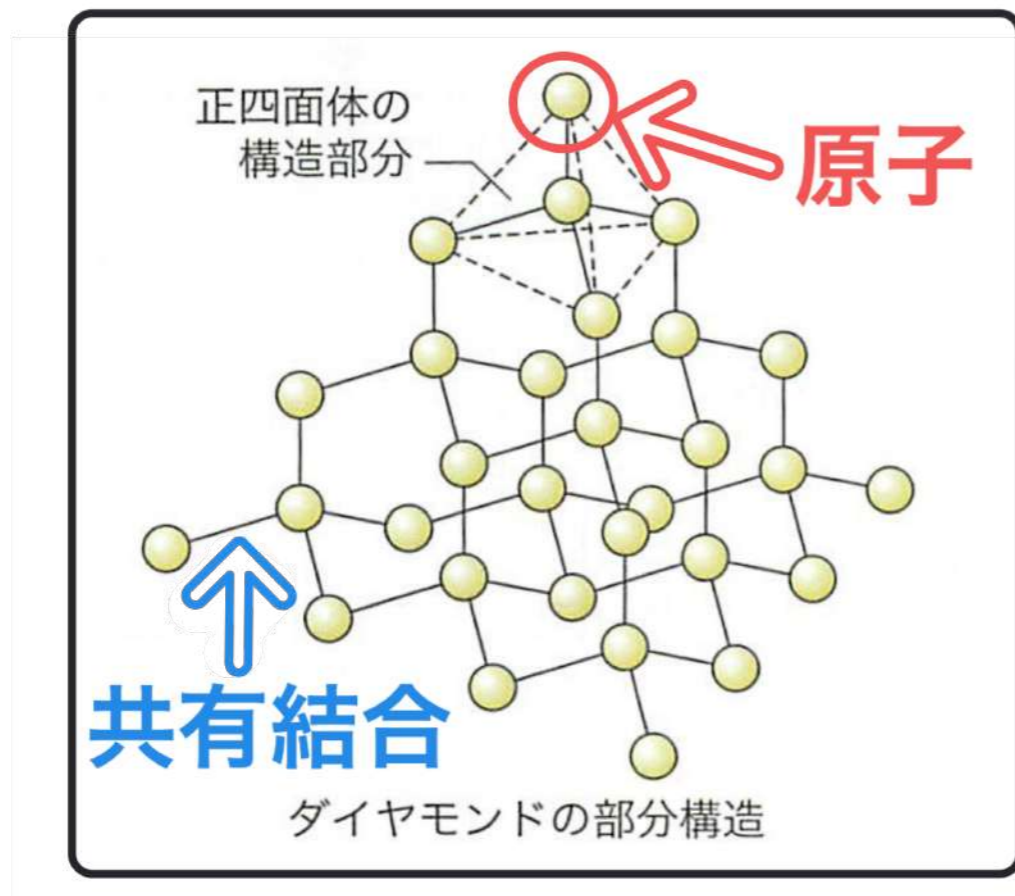
[ ]  
例

[ ]  
例

[ ]  
例

## 共有結合の結晶

多数の原子が、数に限りなく延々と共有結合を繰り返してできた固体のこと。





原子間の  
【結合の種類】

共有結合

イオン結合

金属結合

【結晶の種類】



共有結合の結晶

例

分子結晶

例

例

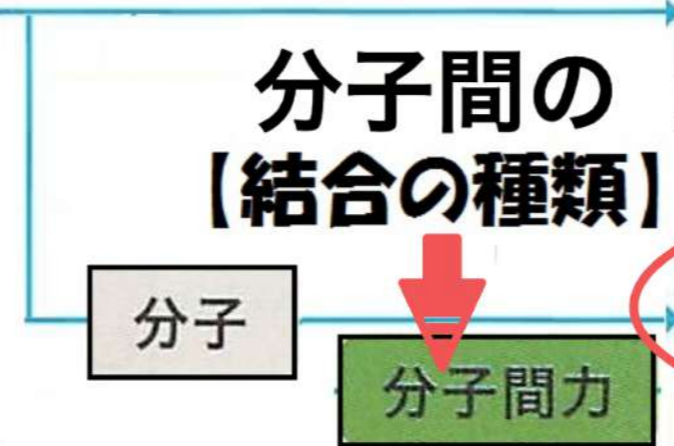
例

分子間の  
【結合の種類】



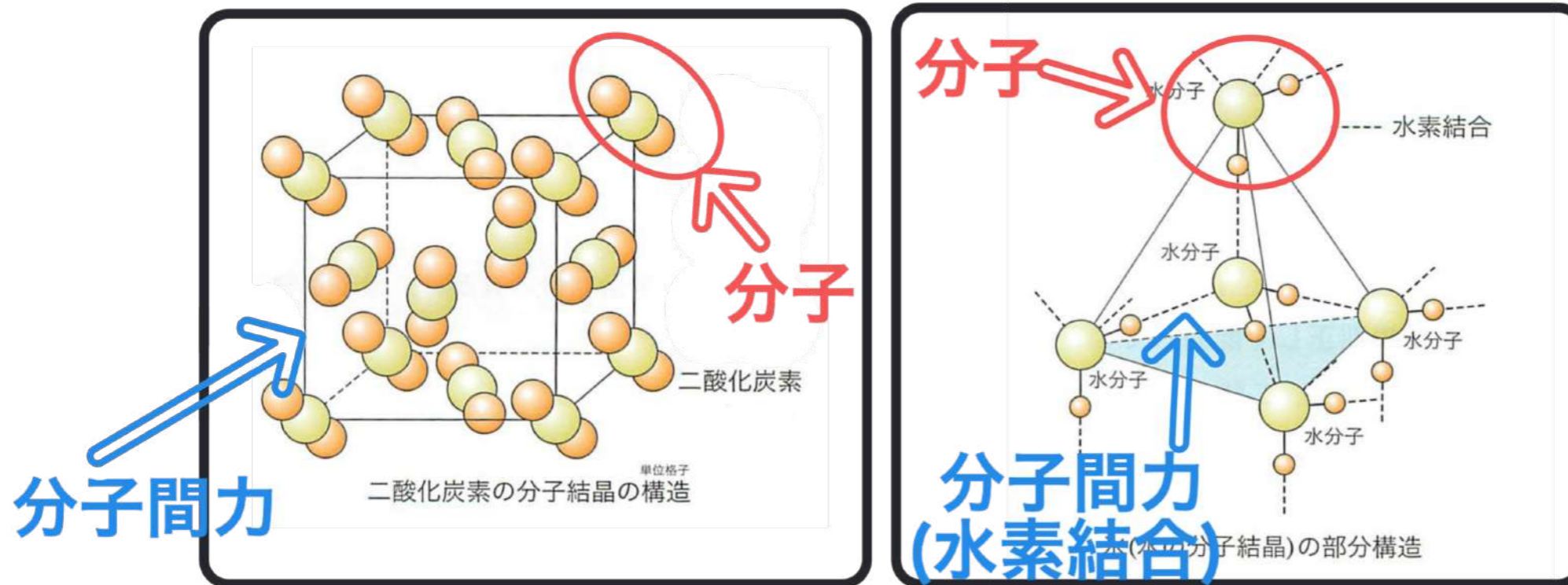
分子

分子間力

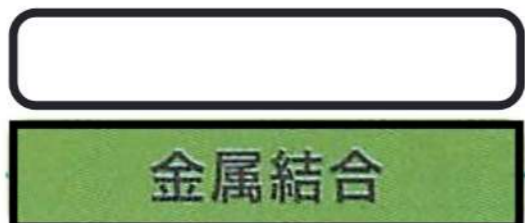
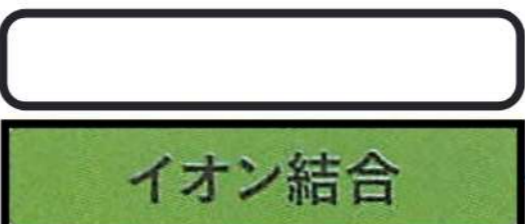


## 分子結晶

分子が、分子間に働く引力によって規則正しく並んでできた固体のこと。



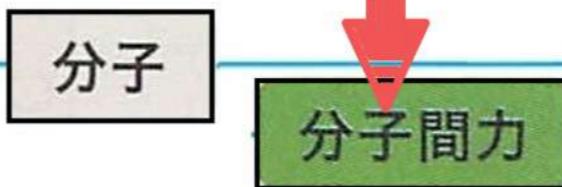
原子間の  
【結合の種類】



【結晶の種類】



分子間の  
【結合の種類】



分子

例

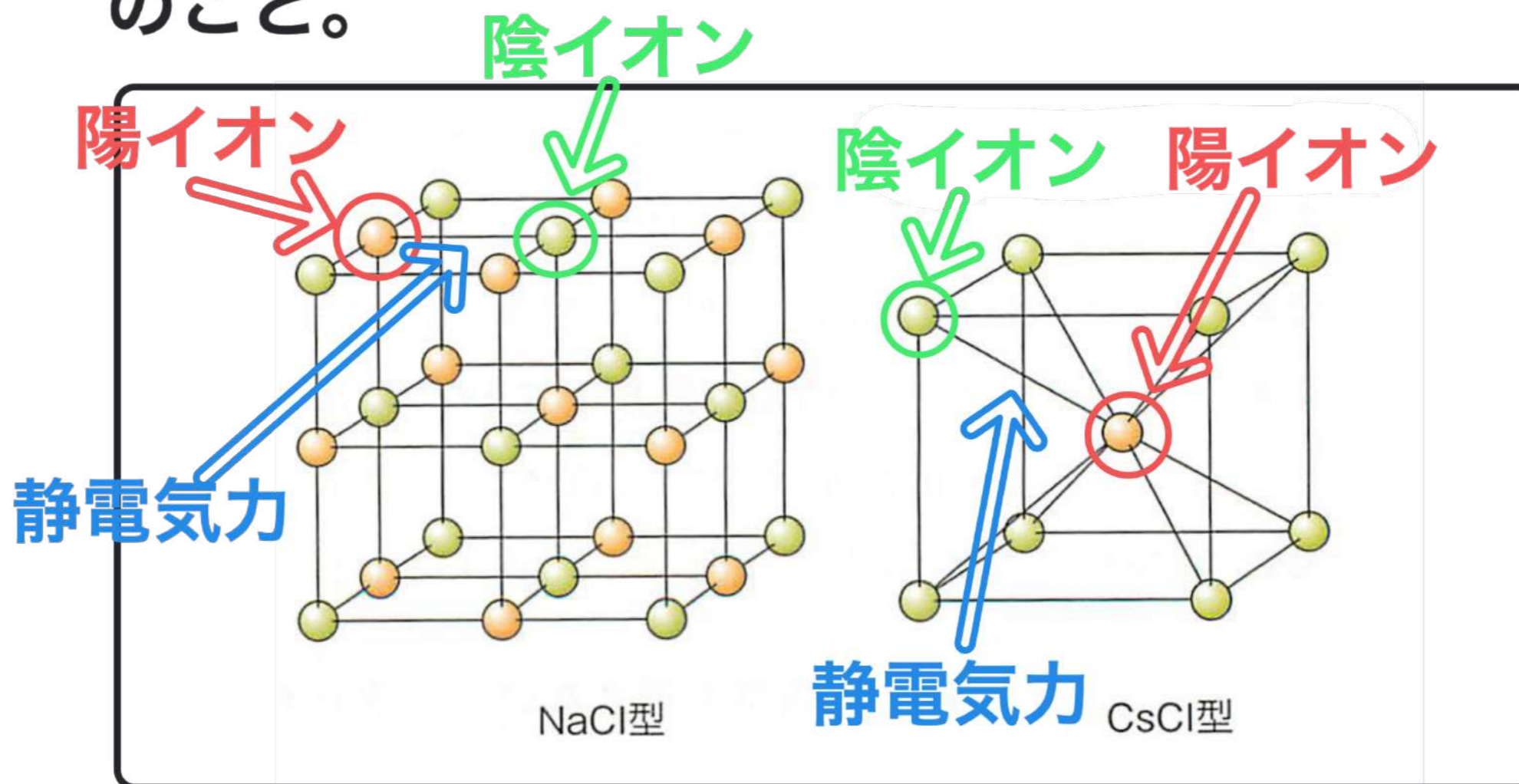
例

例

例

## イオン結晶

多数の陽イオンと陰イオンが静電気力によって結び付き、規則正しく配列してできた固体のこと。



原子間の  
【結合の種類】

共有結合

イオン結合

金属結合

分子間の  
【結合の種類】

分子

分子間力

【結晶の種類】

共有結合の結晶

例

分子結晶

例

イオン結晶

例

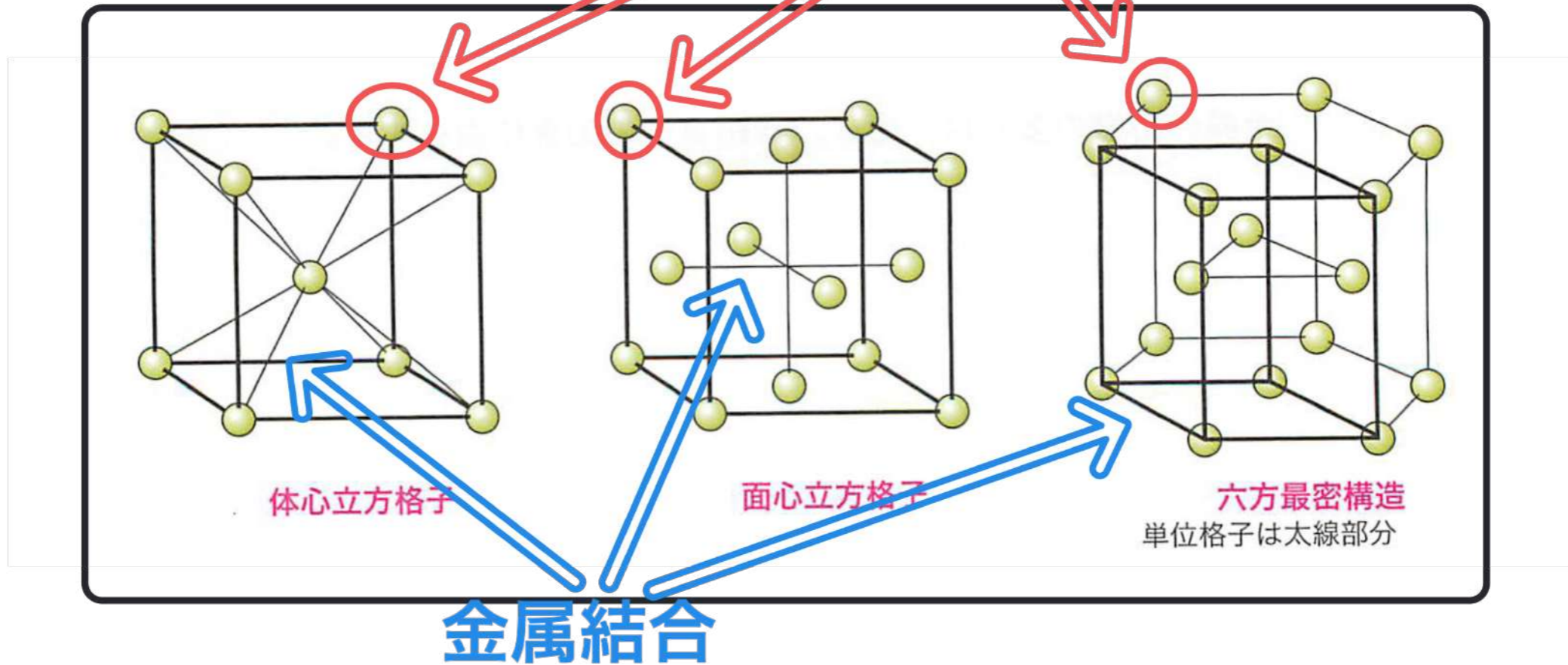
金属結晶

例

## 金属結晶

金属原子が、規則正しく配列してできた  
固体のこと。

金属原子(金属イオン)



## 【結合の種類】

非金属元素のみ

共有結合

分子

イオン結合

金属結合

## 【結晶の種類】

共有結合の結晶

分子結晶

イオン結晶

金属結晶

組成式

例:C(黒鉛, ダイヤモンド)、Si、SiO<sub>2</sub>

【結合の種類】

分子間力

## 【結合の種類】

非金属元素のみ

共有結合

分子

【結合の種類】

分子間力

イオン結合

金属結合

## 【結晶の種類】

共有結合の結晶

例:C(黒鉛, ダイヤモンド)、Si、SiO<sub>2</sub>

分子結晶

例:CO<sub>2</sub>(ドライアイス), H<sub>2</sub>O(氷)

イオン結晶

金属結晶

分子式



## 【結合の種類】

非金属元素のみ

共有結合

金属元素と非金属元素

イオン結合

金属結合

## 【結晶の種類】

共有結合の結晶

例:C(黒鉛, ダイヤモンド)、Si、SiO<sub>2</sub>

### 【結合の種類】

分子

分子間力

分子結晶

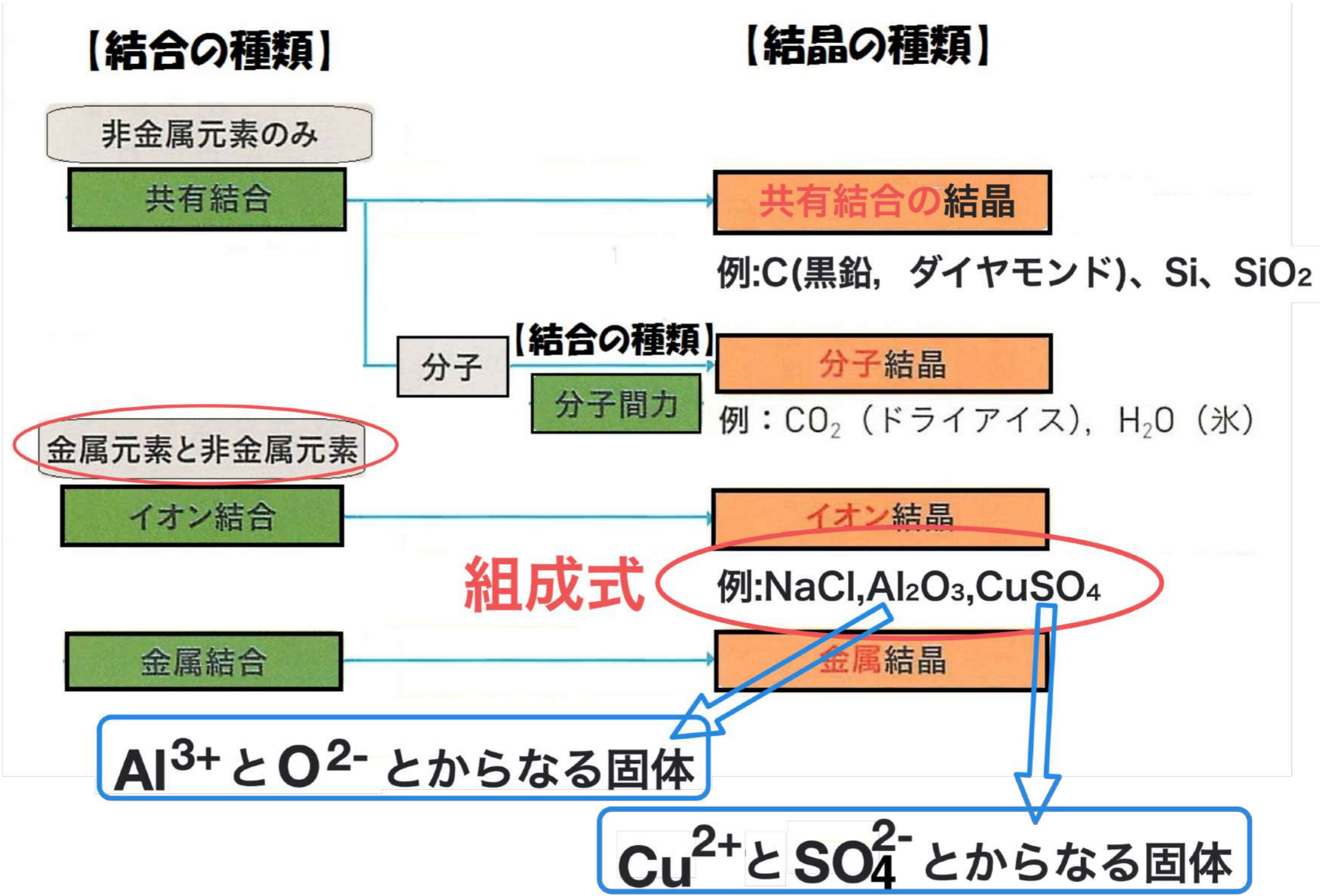
例:CO<sub>2</sub>(ドライアイス), H<sub>2</sub>O(氷)

イオン結晶

例:NaCl, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>

金属結晶

組成式



## 【結合の種類】

非金属元素のみ

共有結合

金属元素と非金属元素

イオン結合

金属元素のみ

金属結合

## 【結晶の種類】

共有結合の結晶

例:C(黒鉛, ダイヤモンド)、Si、SiO<sub>2</sub>

分子

## 【結合の種類】

分子間力

分子結晶

例:CO<sub>2</sub>(ドライアイス), H<sub>2</sub>O(氷)

イオン結晶

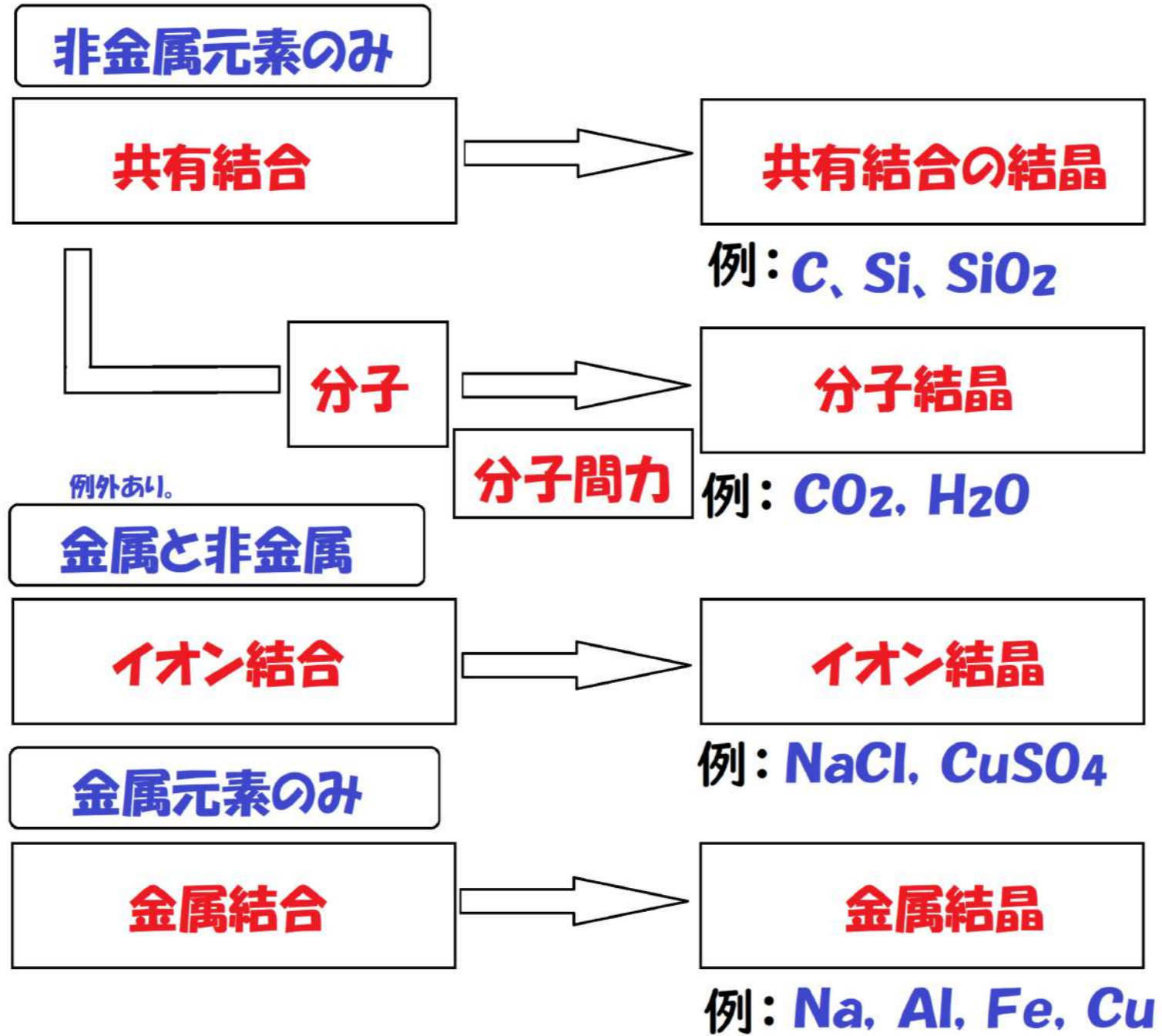
例:NaCl, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, CuSO<sub>4</sub>

金属結晶

例:Na, Al, Fe, Cu

組成式

# 化学結合と結晶



次の結晶はどのような結晶に分類される？

基本；Cu、CaCl<sub>2</sub>、CaO、SiO<sub>2</sub>

応用；ダイヤモンド、黒鉛、ドライアイス、氷

追加問題；応用を含めて、この中で組成式で表さないものは？

## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

## 結晶

結晶とは、構成粒子（**原子**、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配  
位のものがある。



## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

## 結晶

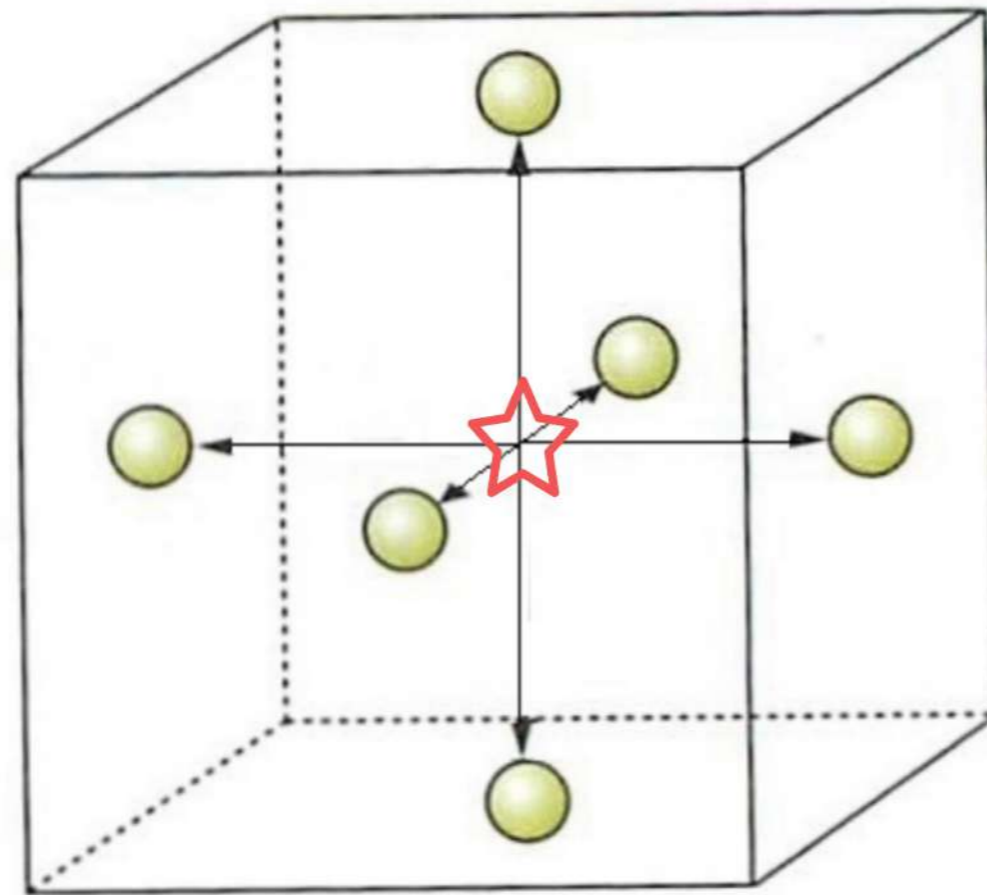
結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。



# 立方体の中心から 各面の中心方向 6方向



注：配位の方法のイメージで、単位格子ではありません。

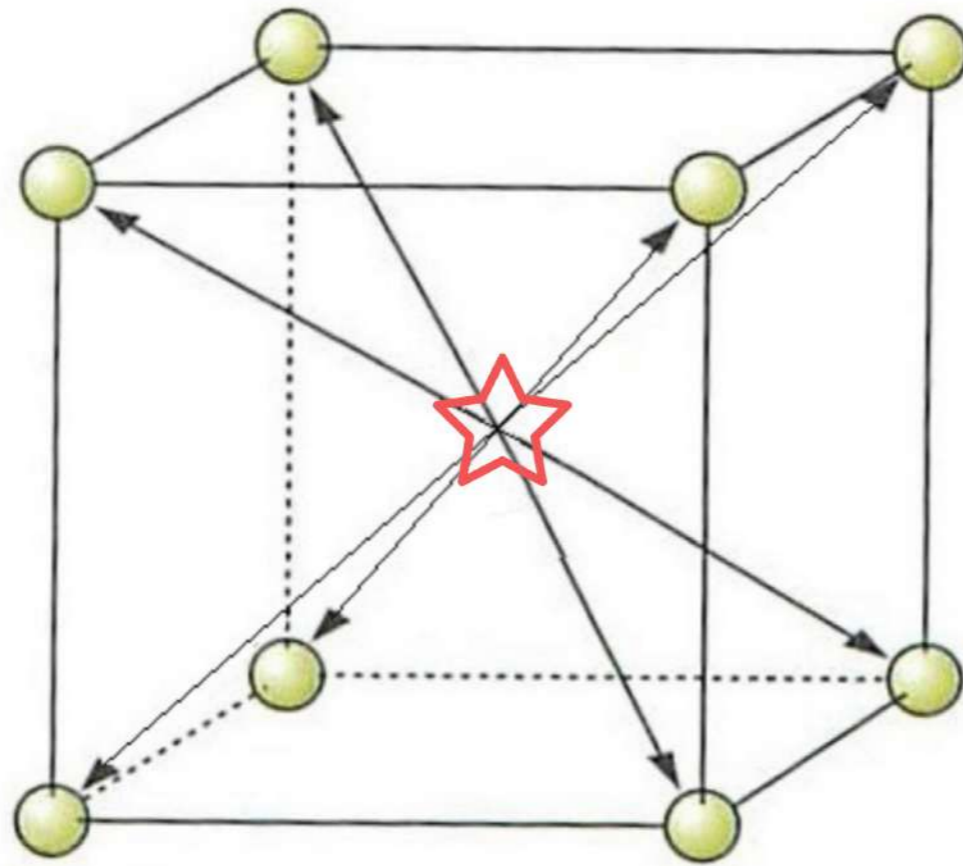
## 結晶

結晶とは、構成粒子（、、）が  
しているのことである。

結晶には、結晶、結晶、結晶、  
結晶がある。

また、結晶には、配位、配位、配位、配位のものがある。

# 立方体の中心から 各頂点方向 8方向



注：配位の方法のイメージで、単位格子ではありません。

## 結晶

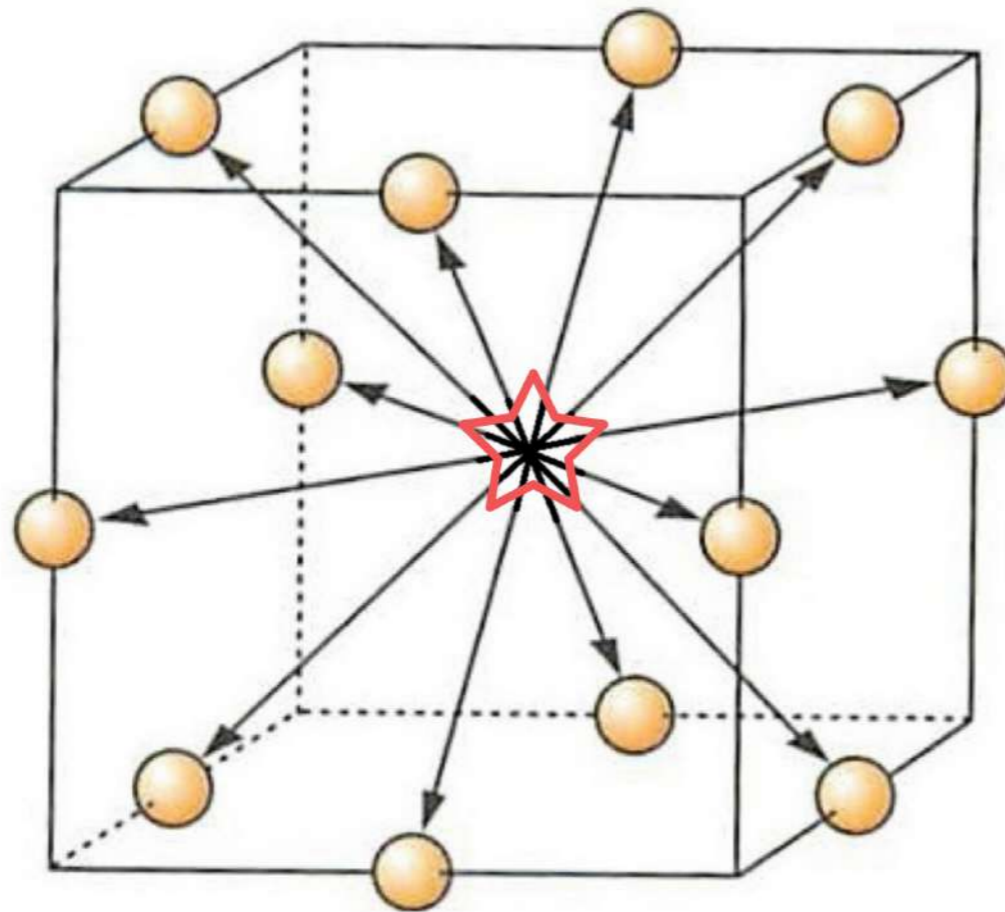
結晶とは、構成粒子（**原子**、**分子**、**イオン**）が**規則正しく配列**している**固体**のことである。

結晶には、**金属**結晶、**イオン**結晶、**共有結合の**結晶、**分子**結晶がある。

また、結晶には、**6**配位、**8**配位、**12**配位、配位のものがある。

# 立方体の中心から 立方体の各辺の真ん中方向

## 12方向



注：配位の方法のイメージで、単位格子ではありません。

## 結晶

結晶とは、構成粒子（**原子**、**分子**、**イオン**）が**規則正しく配列**している**固体**のことである。

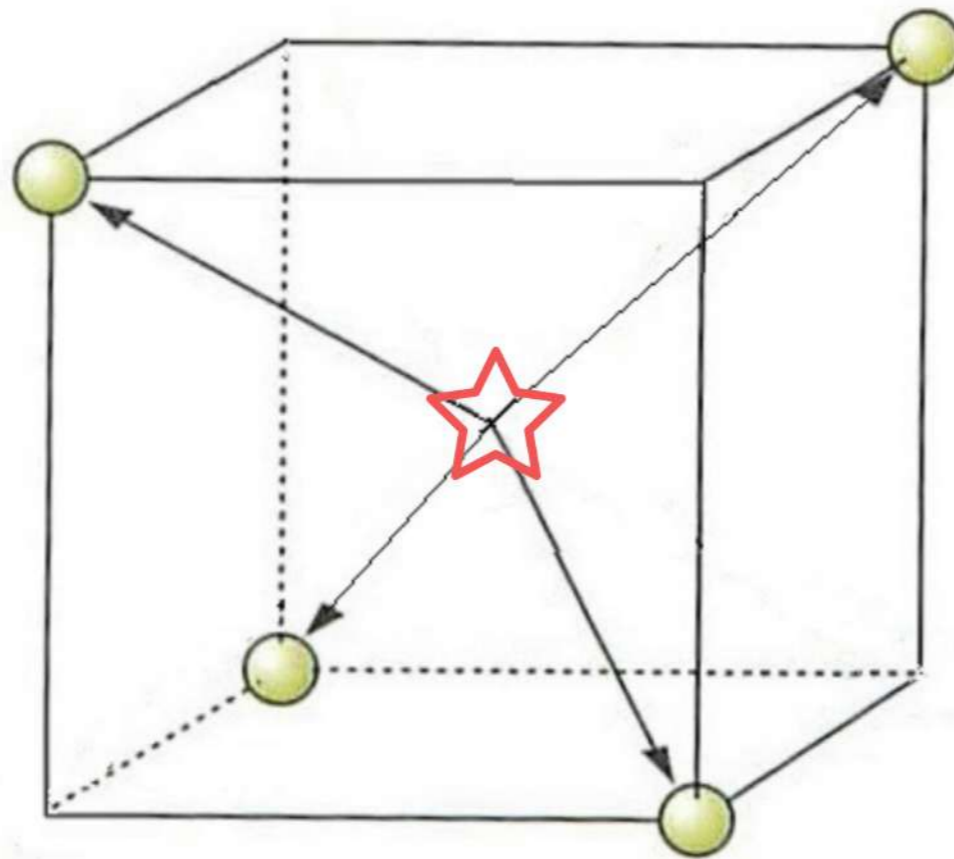
結晶には、**金属**結晶、**イオン**結晶、**共有結合の**結晶、**分子**結晶がある。

また、結晶には、**6**配位、**8**配位、**12**配位、**4D**配位のものがある。

# 立方体の中心から 各頂点方向

の半分！

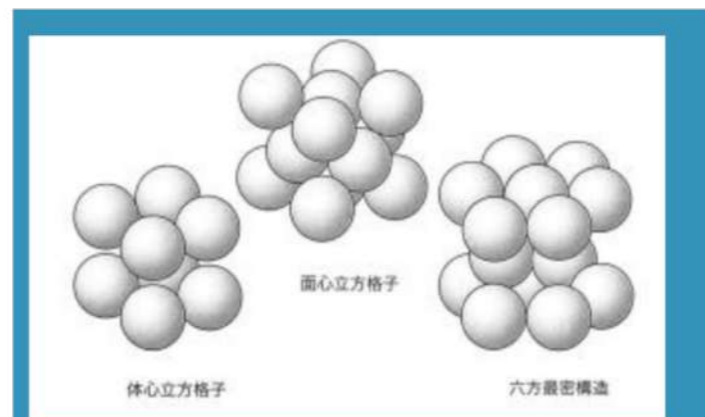
4方向



注：配位の方法のイメージで、単位格子ではありません。

# まずは軽めに**金属結晶**

## テーマ1 **結晶**



### ⑤金属結晶：充填率の計算

まず、原子の配列を眺め、それから、単位格子中の粒子数や単位格子の一辺の長さ  $l$  と原子半径  $r$  との関係を整理し、それらをもとに、充填率を計算してみましょう。

原子の配列

おすすめ動画：六方最密構造と立方最密構造(面心立方格子)はどう違う？

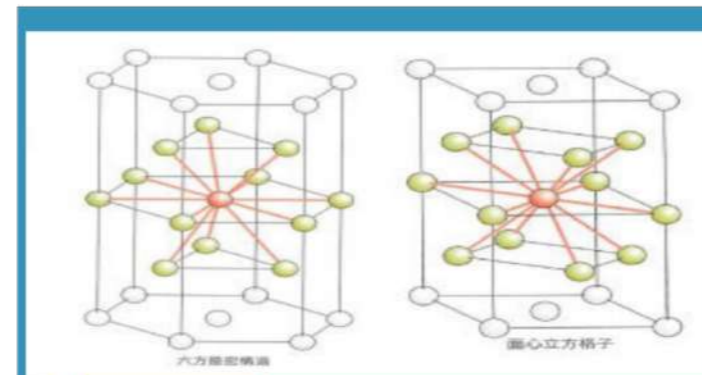
単位格子中の原子数

単位格子の一辺の長さと原子半径との関係

充填率の計算

まずはこの辺りを参照。

## ⑤、⑥ 金属結晶



詳細

### ⑥金属結晶：配位数（最近接の原子数）

最後に、配位数（最近接の原子数）について考えてみましょう。最密充填構造（六方最密構造、立方最密構造）の充填率は74%で、その配位数は12です。体心立方格子の充填率は68%で、その配位数は8です。つまり、配位数が大きいほど充填率が高い、言い換えれば、配位数は充填の様子の大まかな目安になりそうですね。



金属結晶には、格子、格子、  
構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

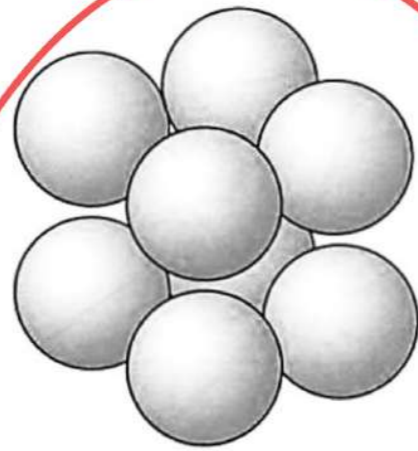
イオン結晶には、型、型、型などがあり、  
配位数はそれぞれ、、である。

共有結合の結晶の例には、の結晶やの結  
晶などがあるが、これらの配位数はともにである。

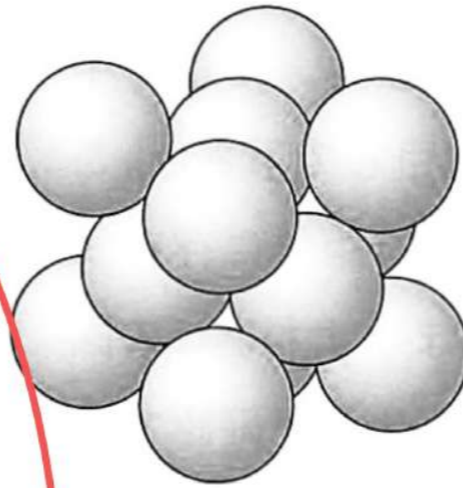
金属結晶には、**体心立方**格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

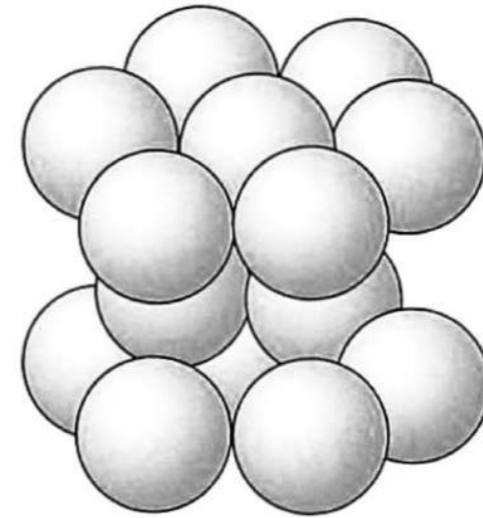
共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。



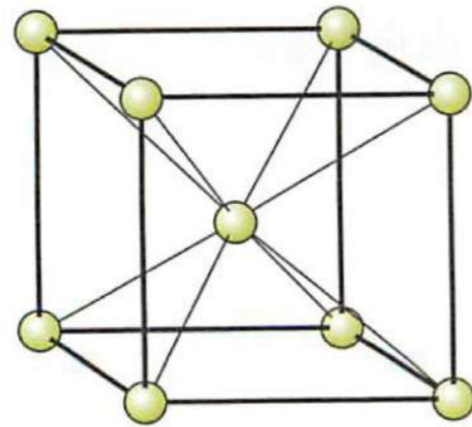
体心立方格子



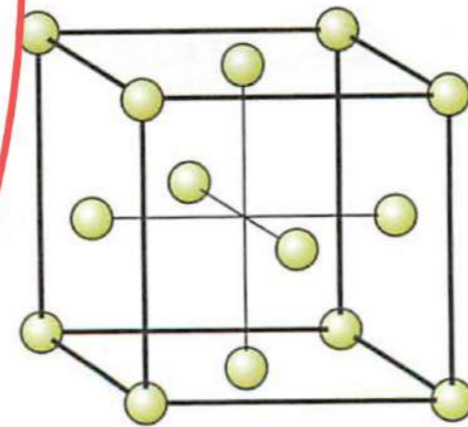
面心立方格子



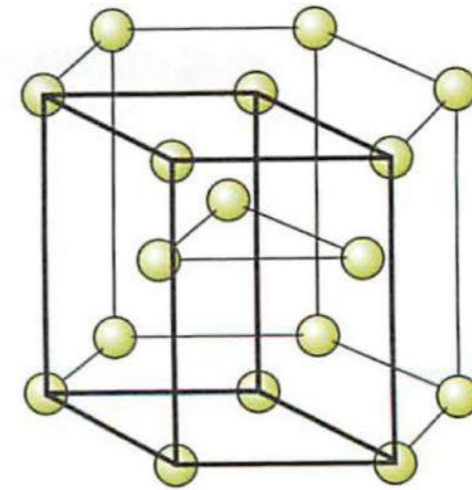
六方最密構造



体心立方格子



面心立方格子

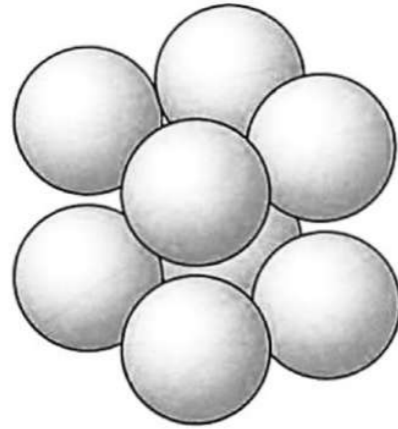


六方最密構造  
単位格子は太線部分

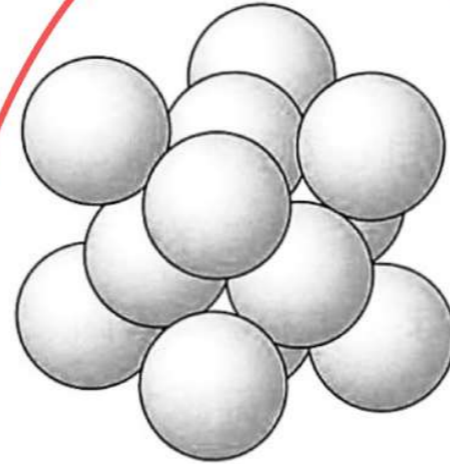
金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

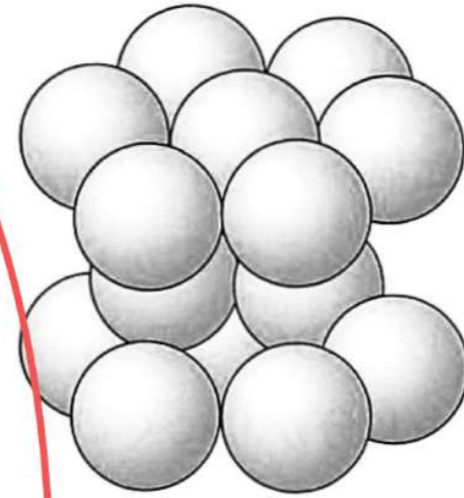
共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。



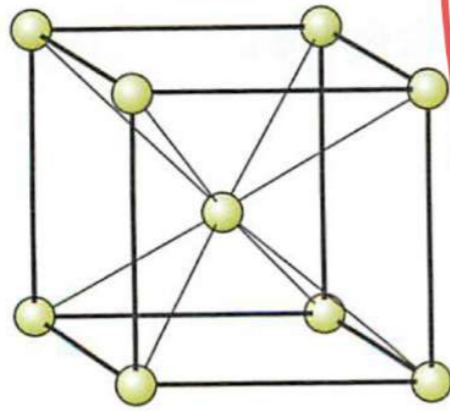
体心立方格子



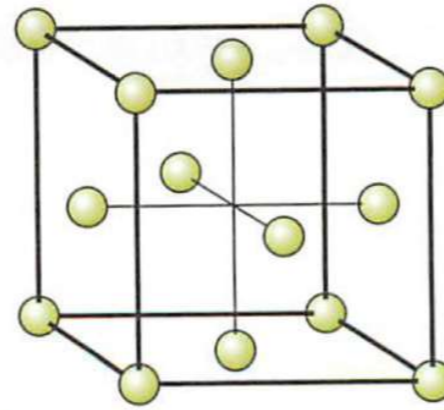
面心立方格子



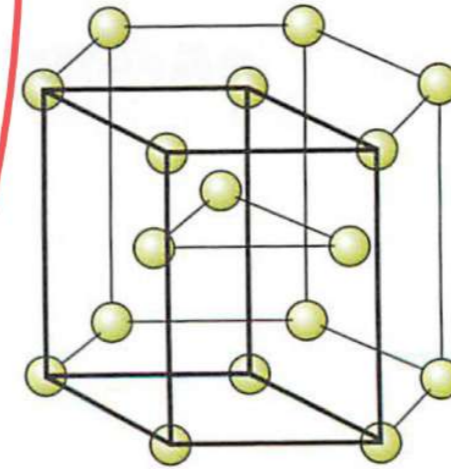
六方最密構造



体心立方格子



面心立方格子

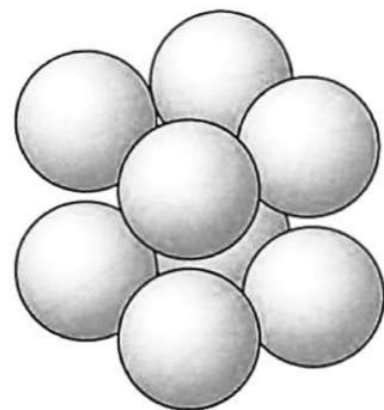


六方最密構造  
単位格子は太線部分

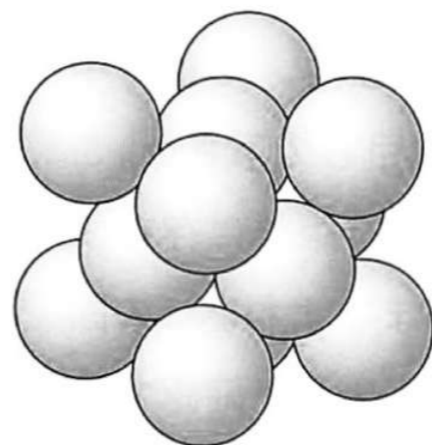
金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

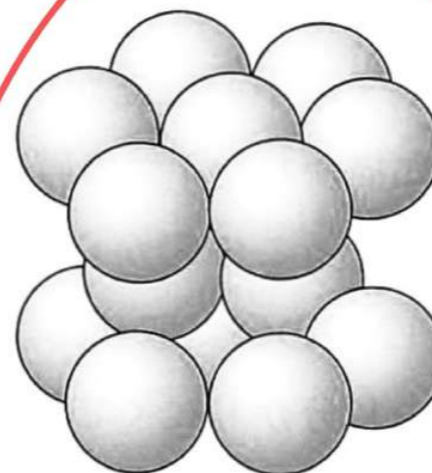
共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。



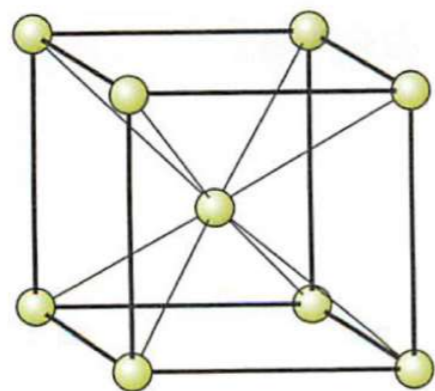
体心立方格子



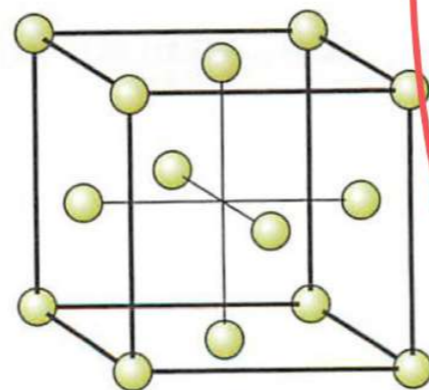
面心立方格子



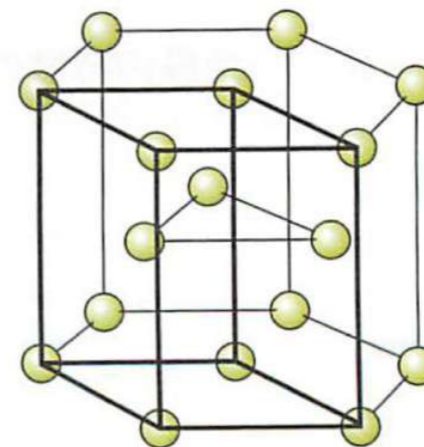
六方最密構造



体心立方格子



面心立方格子



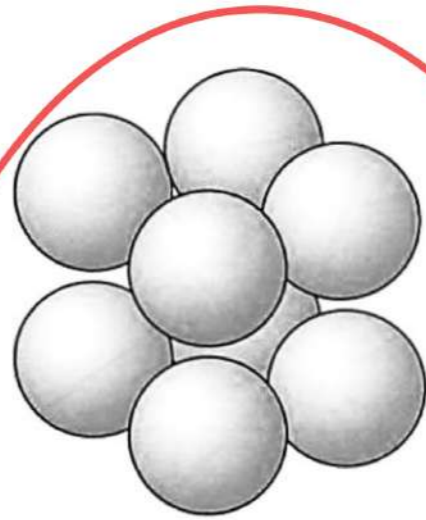
六方最密構造  
単位格子は太線部分

金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

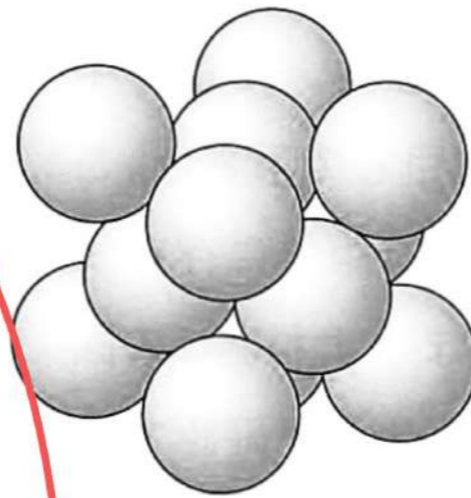
イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。

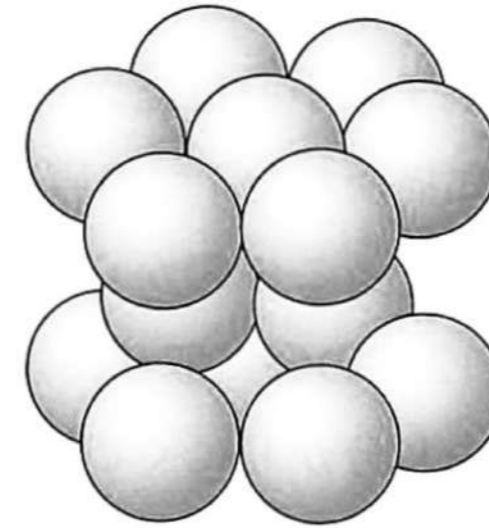




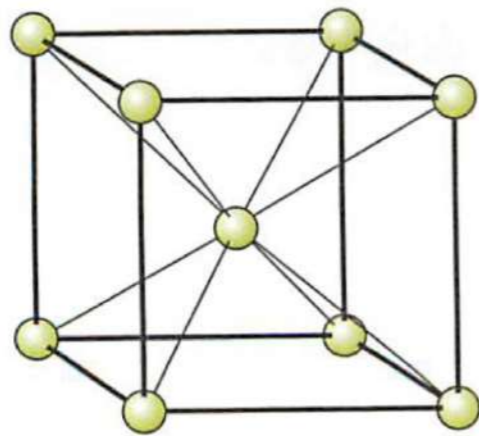
体心立方格子



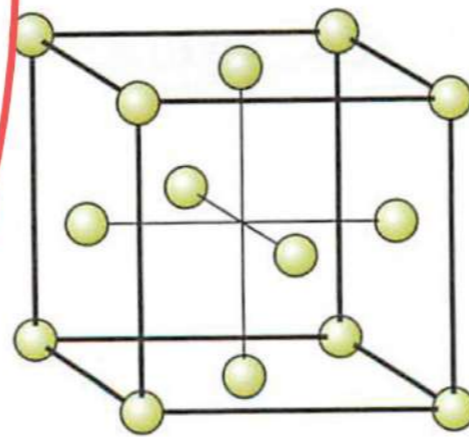
面心立方格子



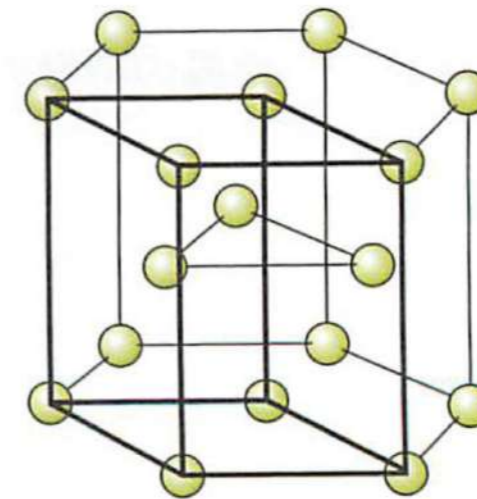
六方最密構造



体心立方格子



面心立方格子

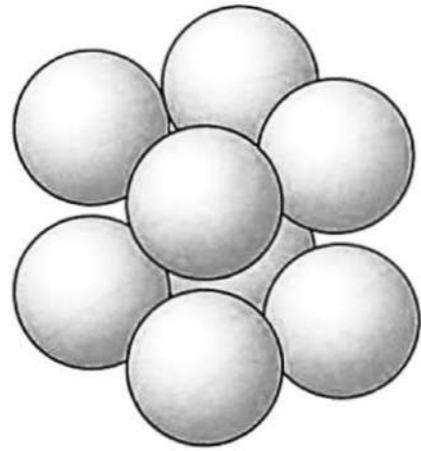


六方最密構造  
単位格子は太線部分

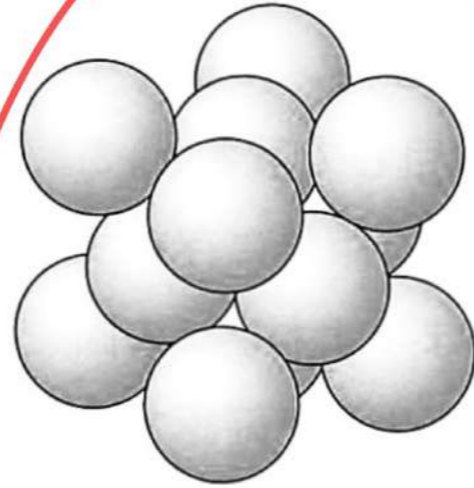
金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

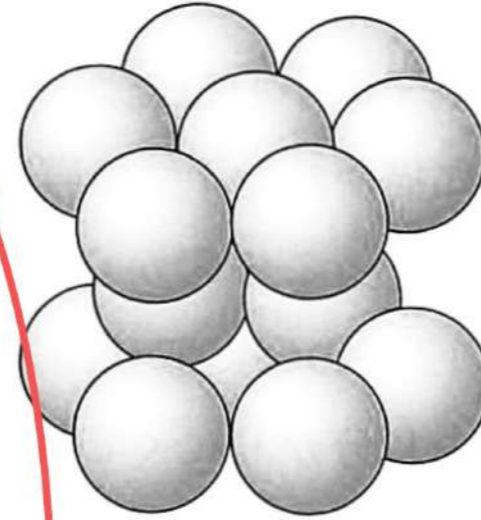
共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。



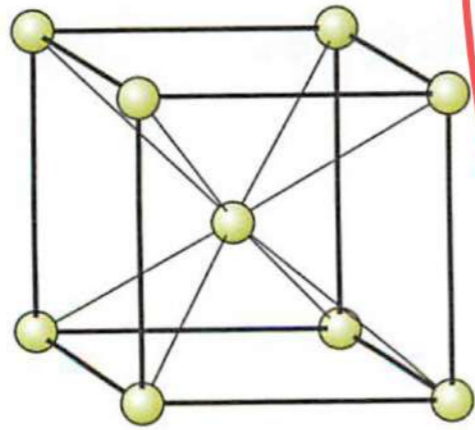
体心立方格子



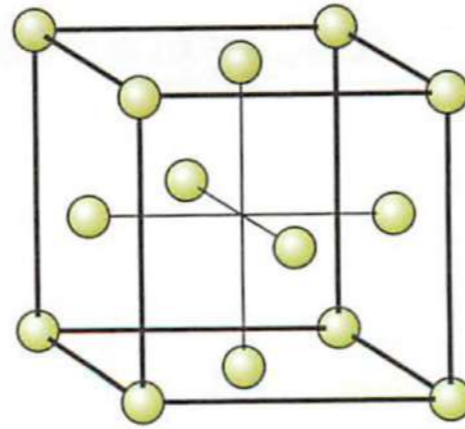
面心立方格子



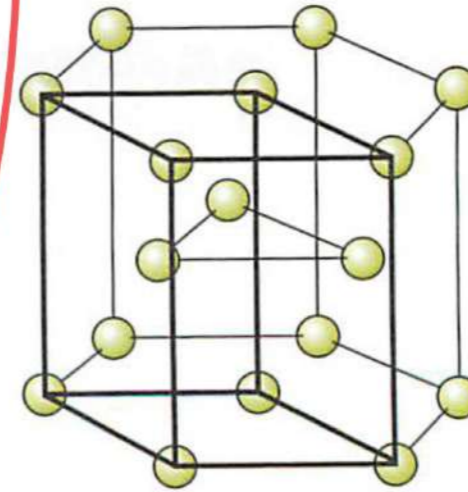
六方最密構造



体心立方格子



面心立方格子

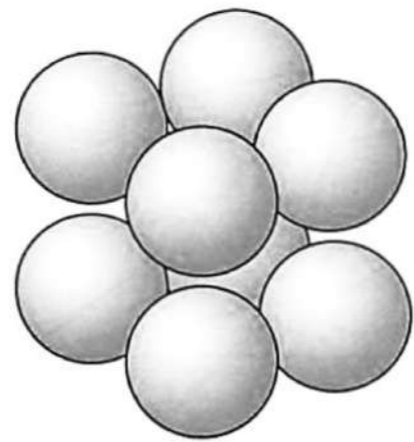


六方最密構造  
単位格子は太線部分

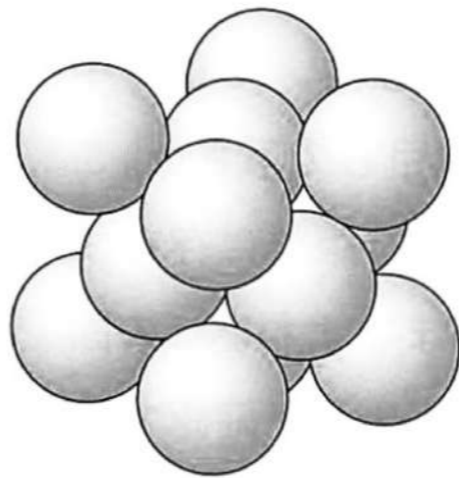
金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

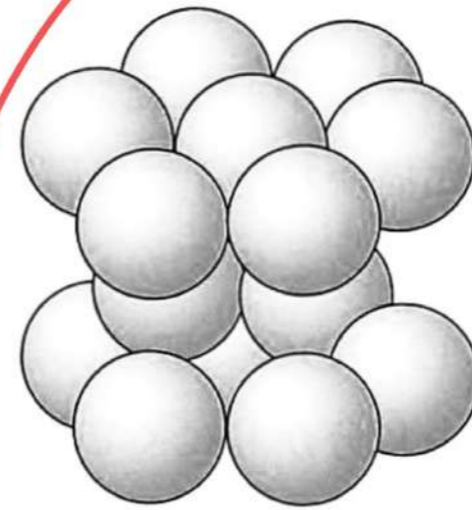
共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。



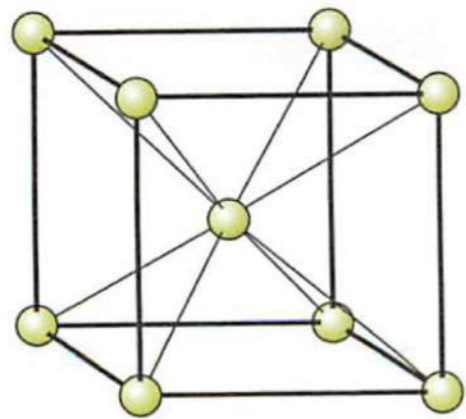
体心立方格子



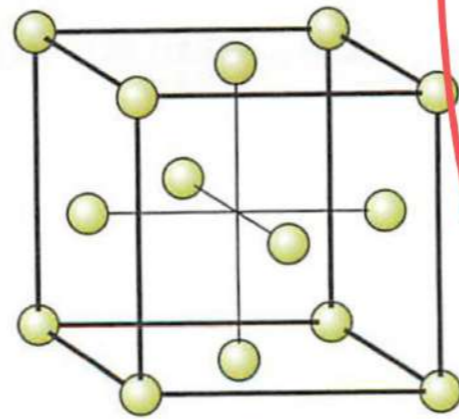
面心立方格子



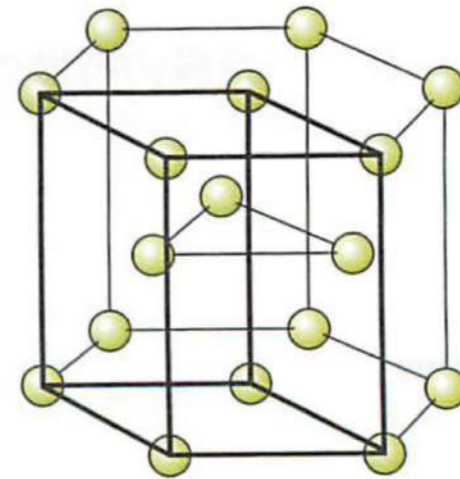
六方最密構造



体心立方格子



面心立方格子



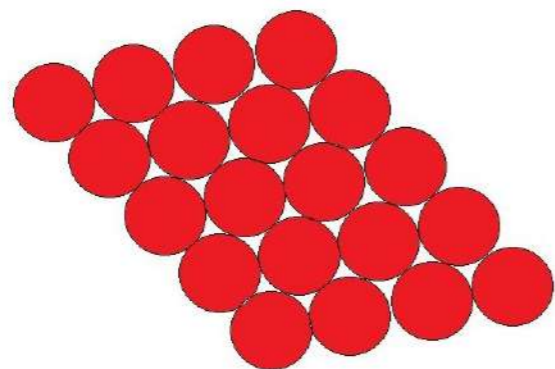
六方最密構造  
単位格子は太線部分

## 疑問

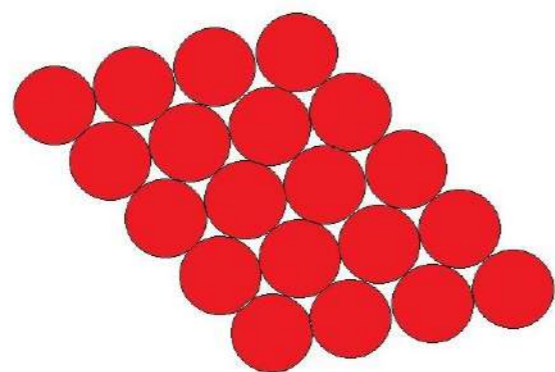
面心立方格子の別名は立方最密構造。すると六方最密構造と同様に最密なの？

## 六方最密充填構造

### 第1層目



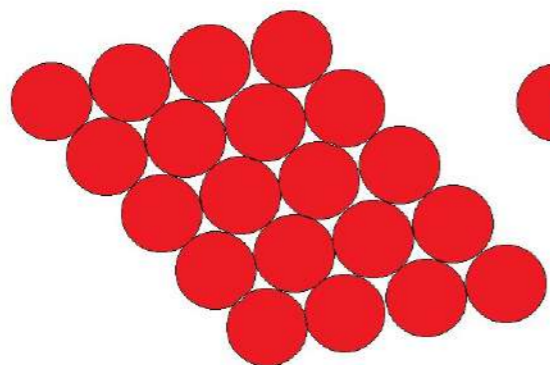
## 立方最密充填構造(面心立方格子)



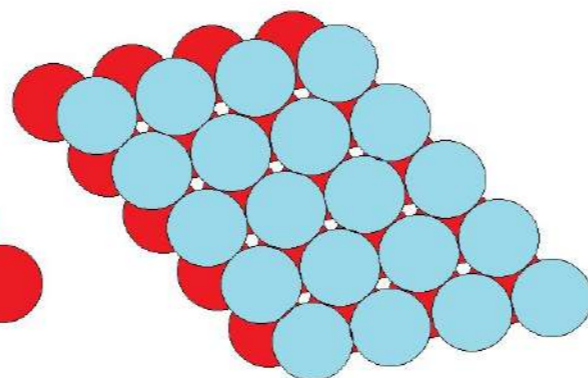
### 第1層目

## 六方最密充填構造

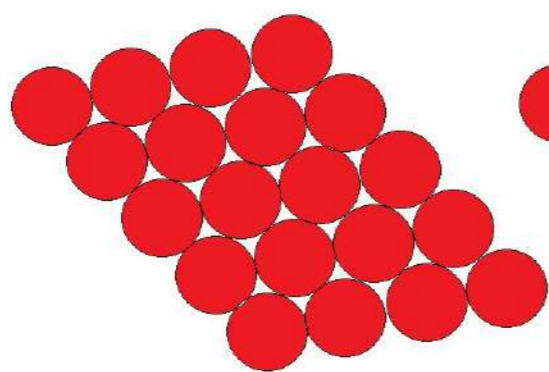
第1層目



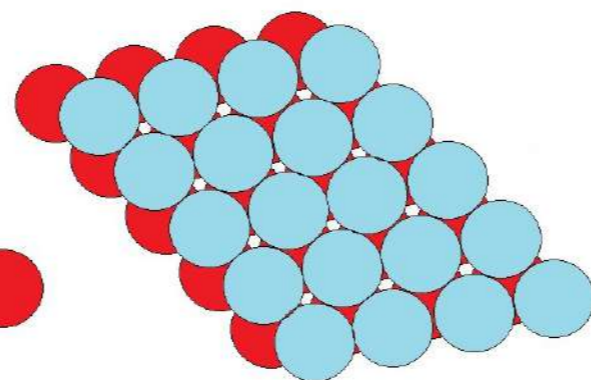
第2層目



## 立方最密充填構造(面心立方格子)



第1層目

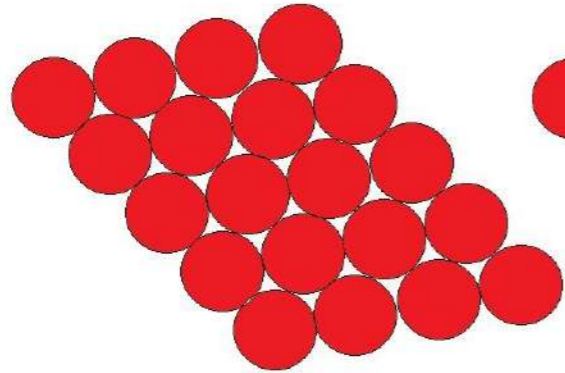


第2層目

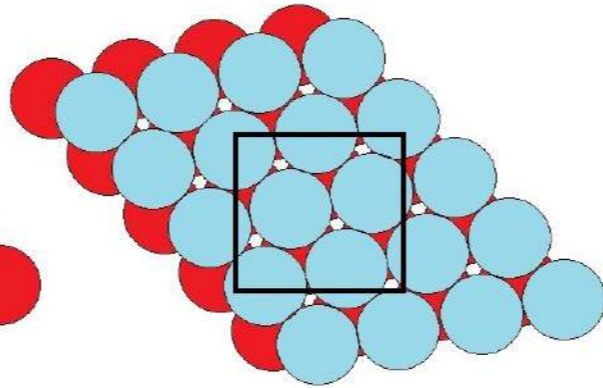


## 六方最密充填構造

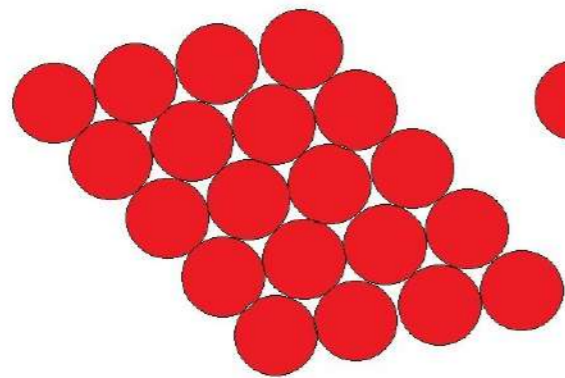
第1層目



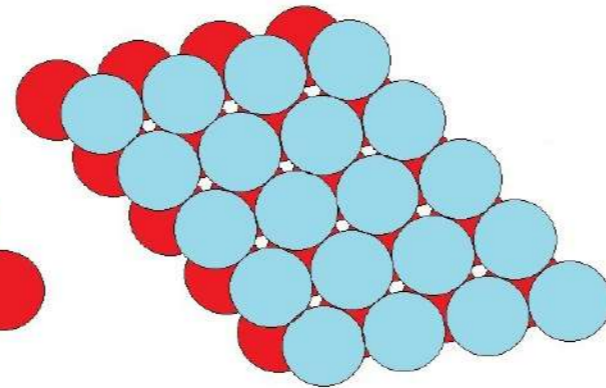
第2層目



## 立方最密充填構造(面心立方格子)

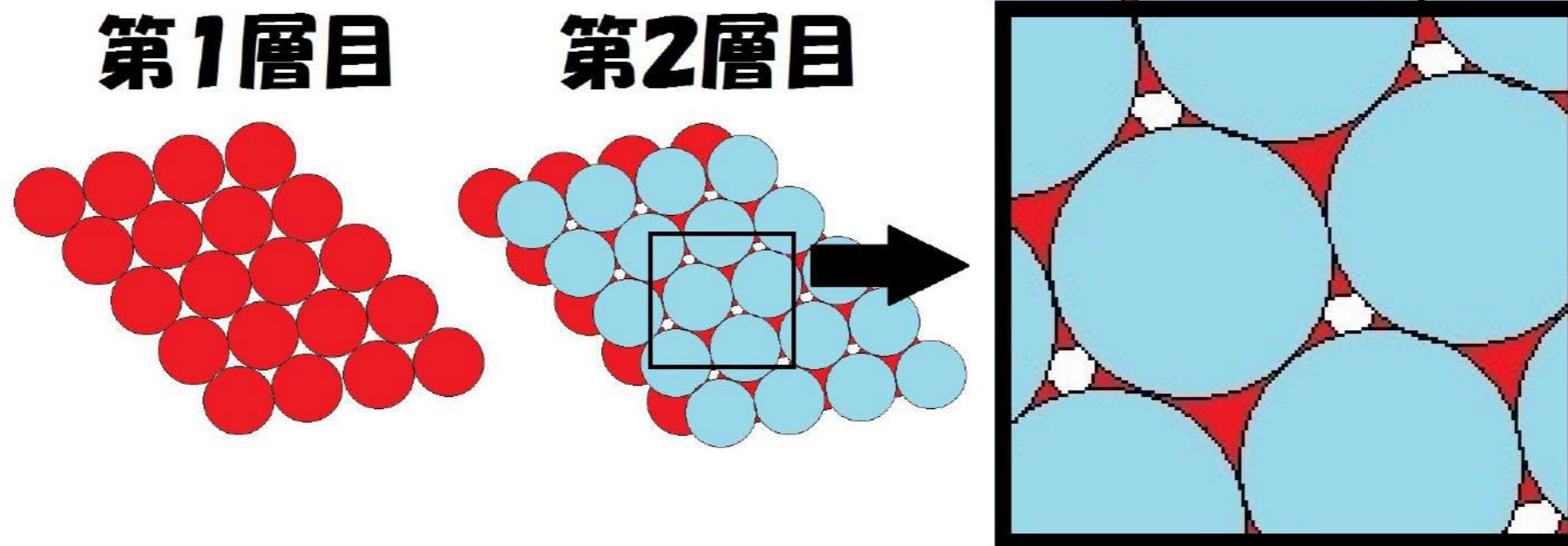


第1層目

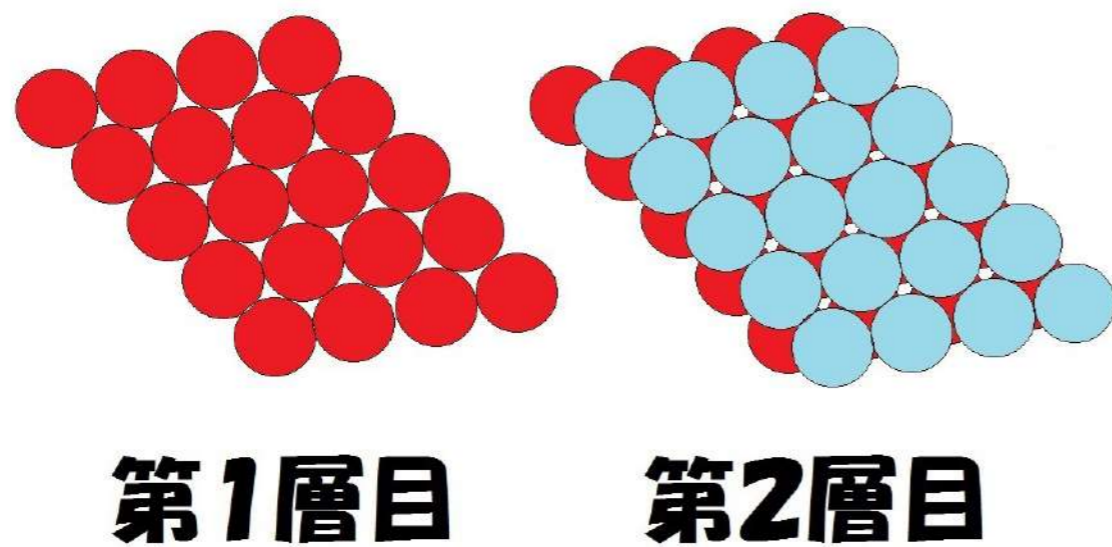


第2層目

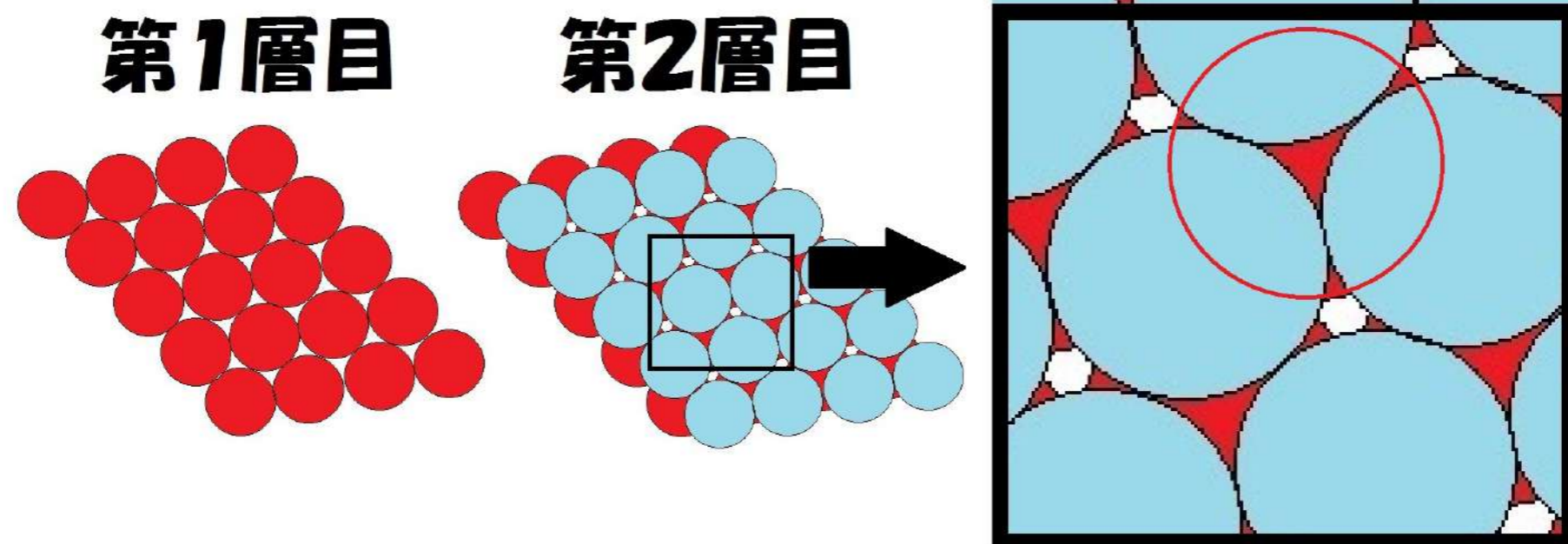
## 六方最密充填構造



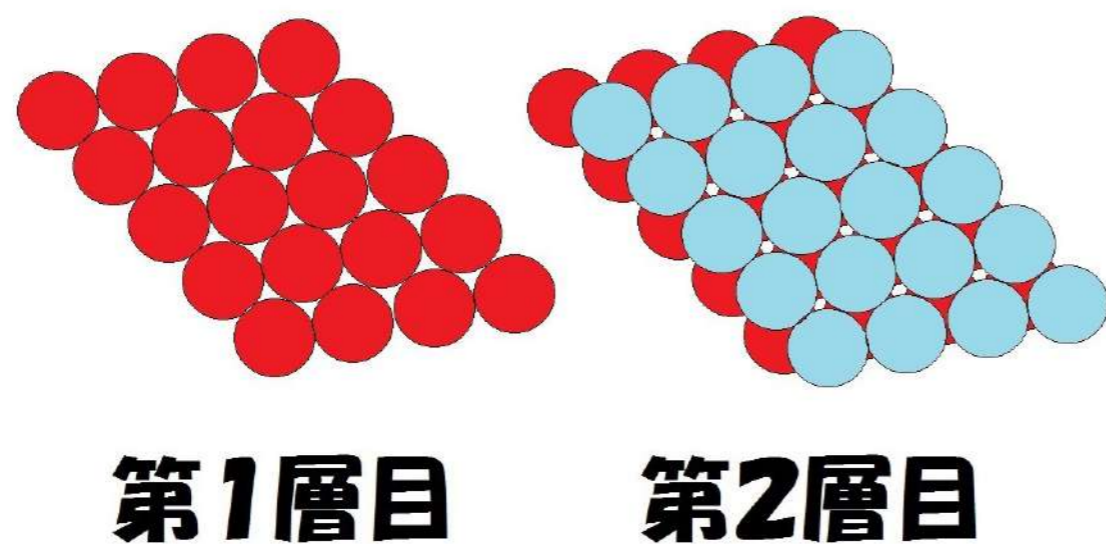
## 立方最密充填構造(面心立方格子)



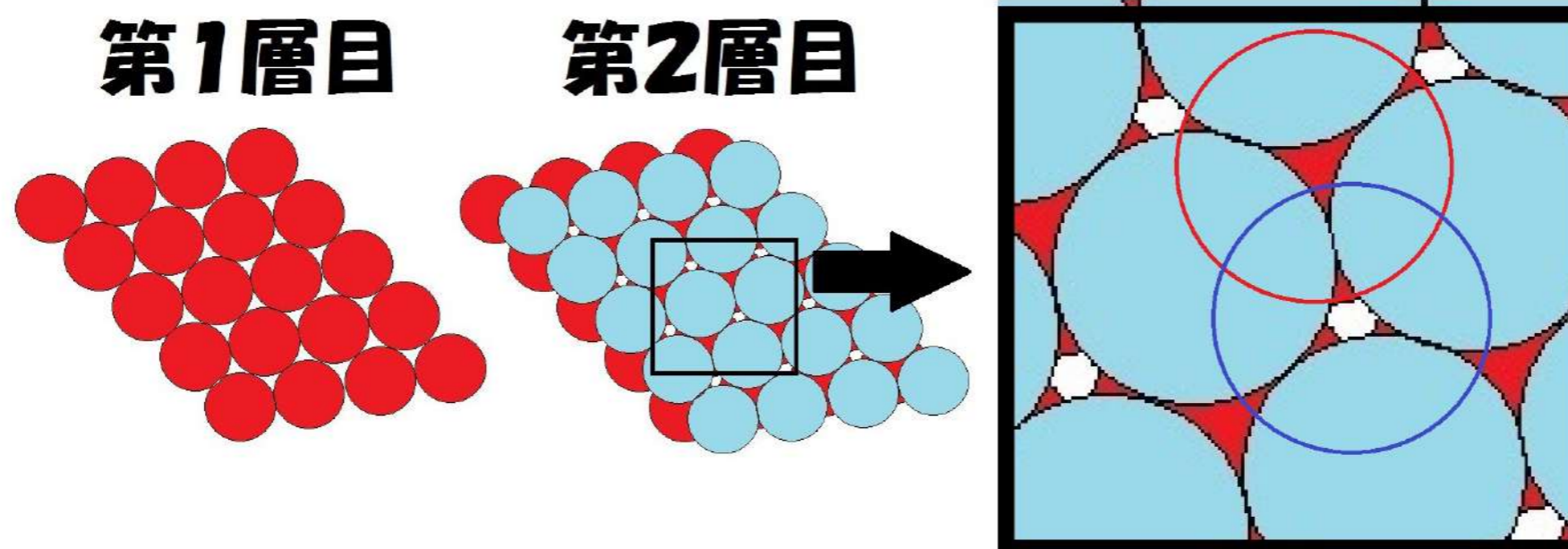
## 六方最密充填構造



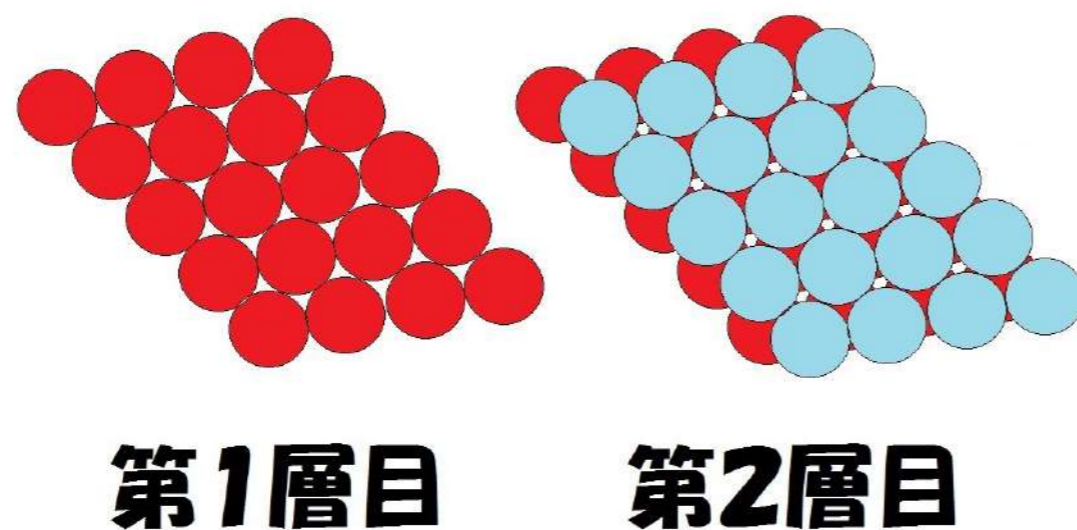
## 立方最密充填構造(面心立方格子)



## 六方最密充填構造

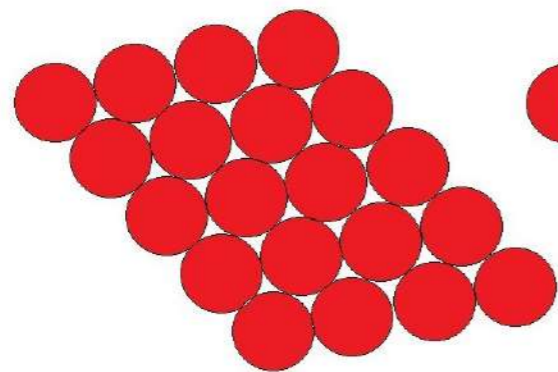


## 立方最密充填構造(面心立方格子)

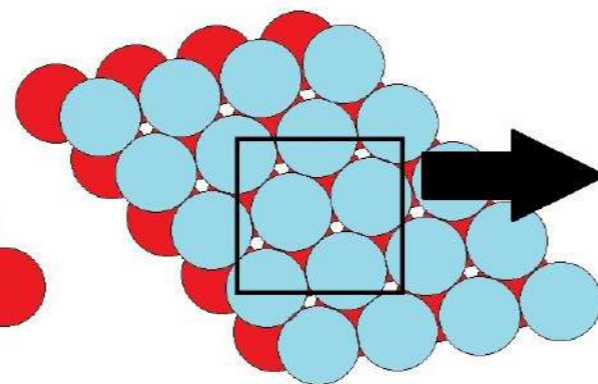


## 六方最密充填構造

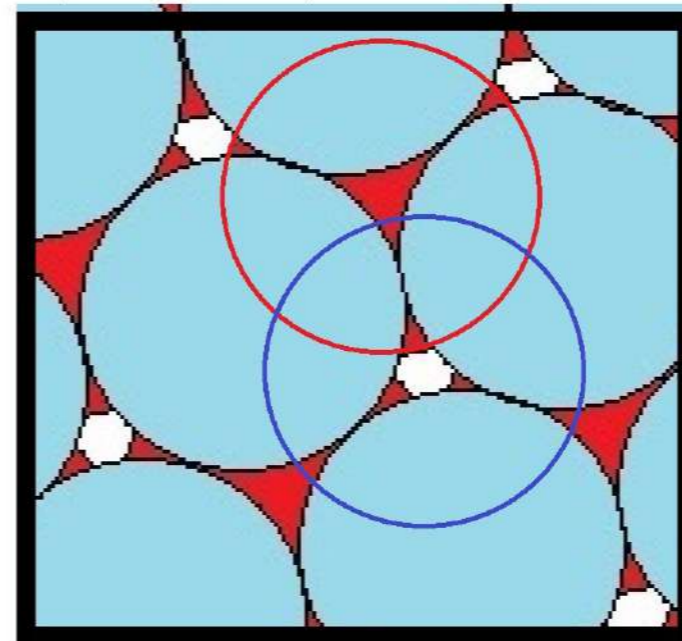
第1層目



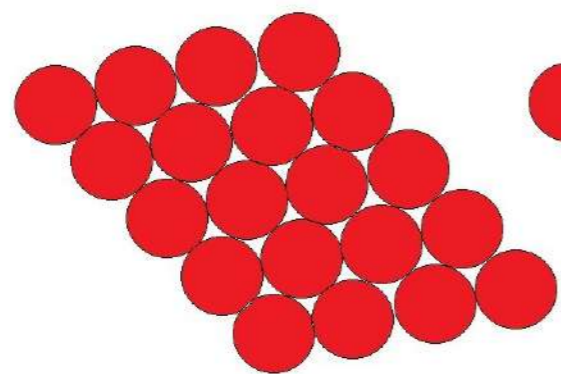
第2層目



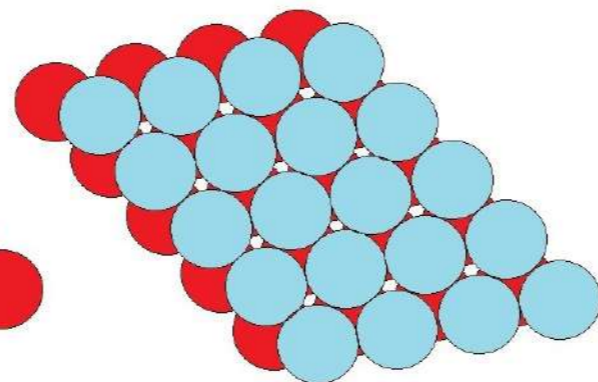
第3層目の置き方は2通りある!



## 立方最密充填構造(面心立方格子)



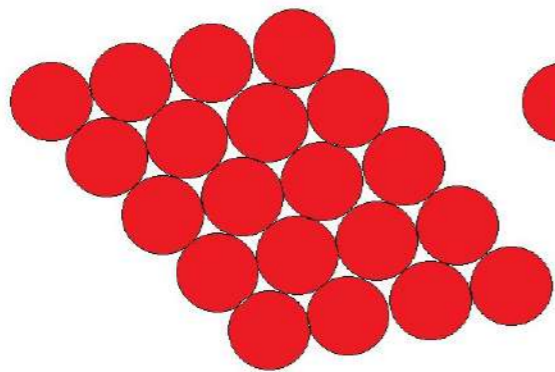
第1層目



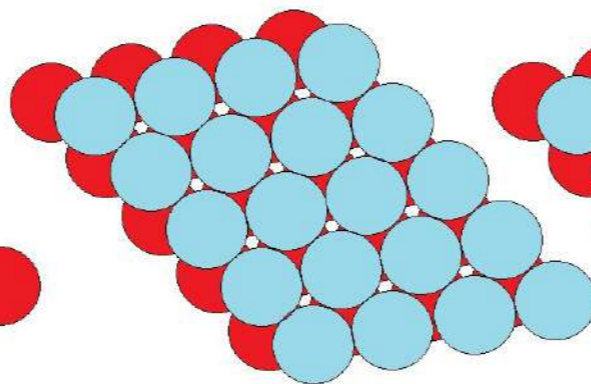
第2層目

# 六方最密充填構造

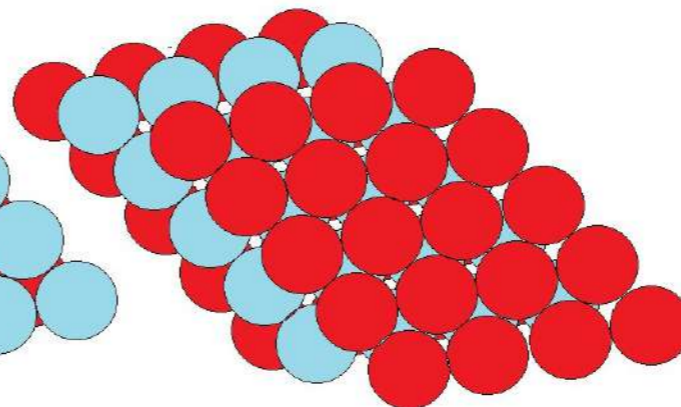
第1層目



第2層目

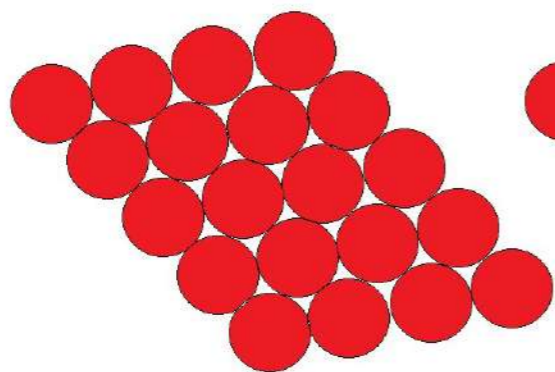


第3層目

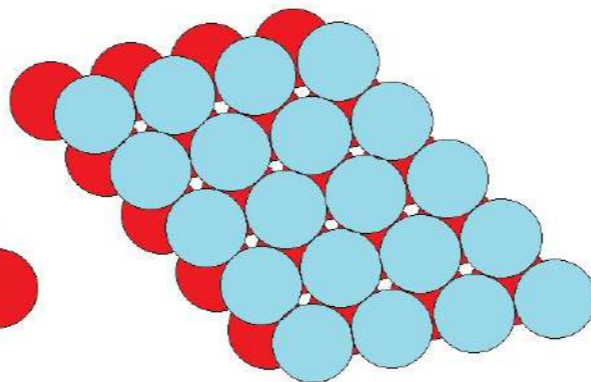


# 立方最密充填構造(面心立方格子)

第1層目

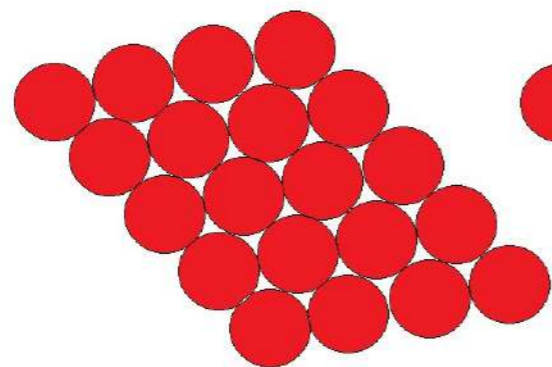


第2層目

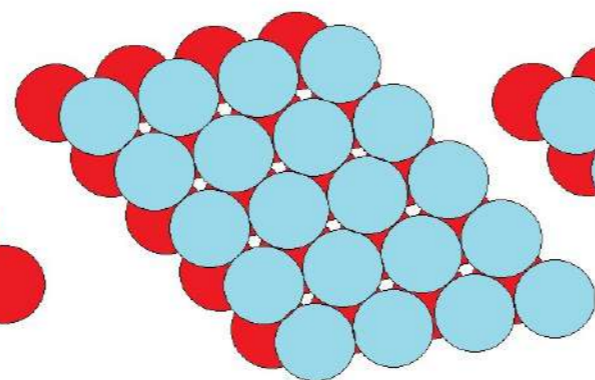


## 六方最密充填構造

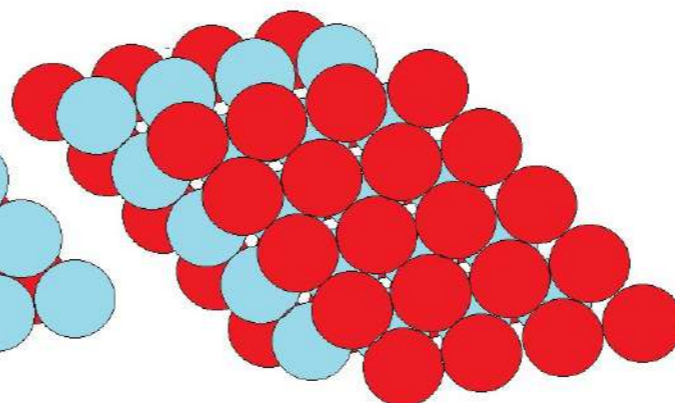
第1層目



第2層目

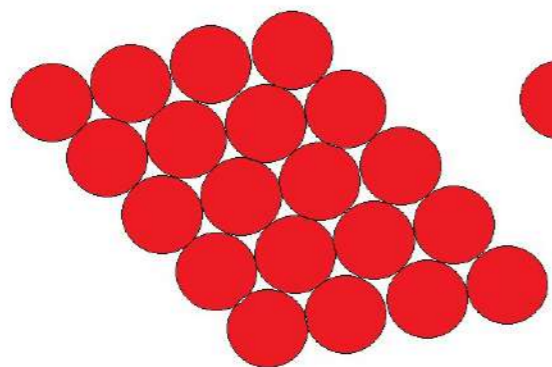


第3層目

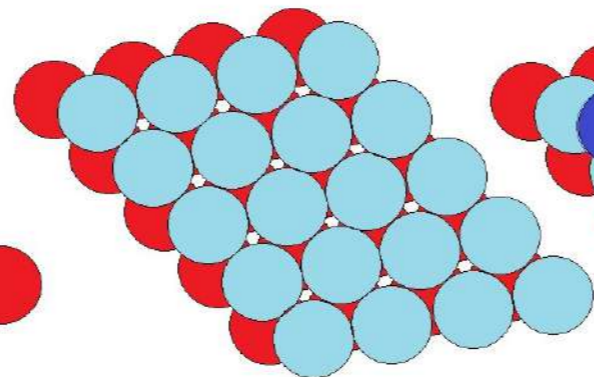


## 立方最密充填構造(面心立方格子)

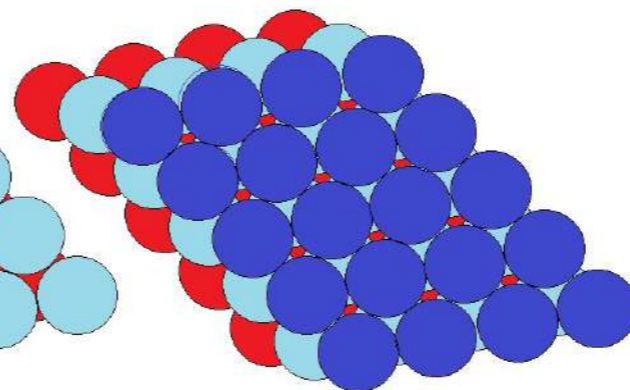
第1層目



第2層目

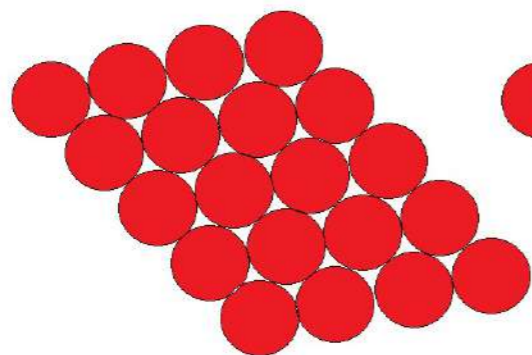


第3層目

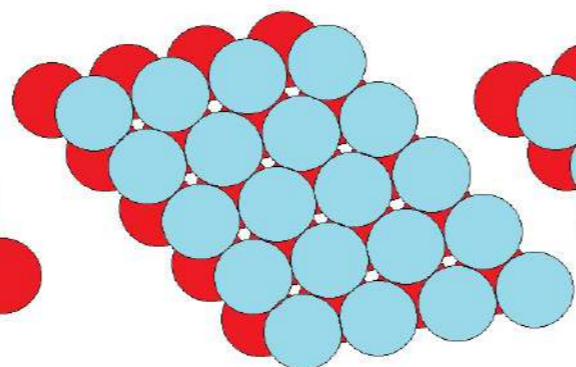


## 六方最密充填構造

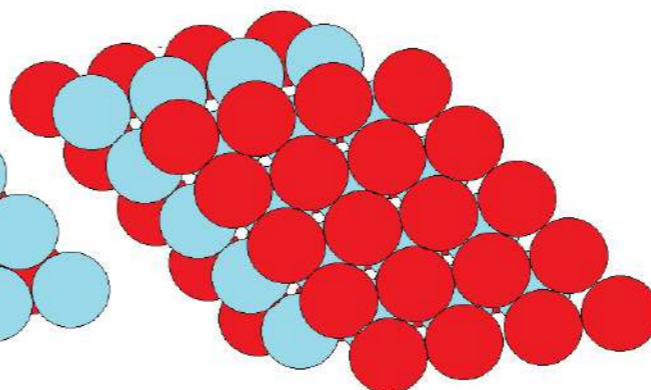
第1層目



第2層目

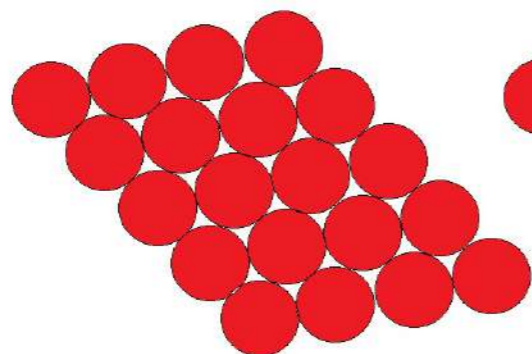


第3層目

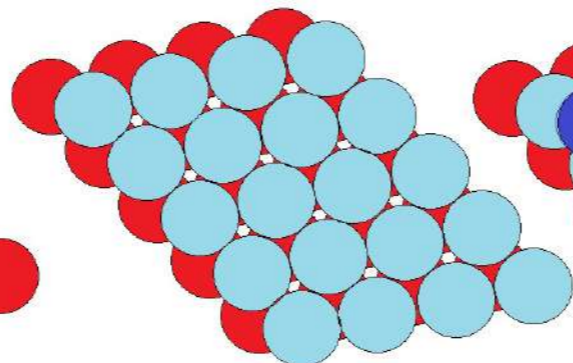


## 立方最密充填構造(面心立方格子)

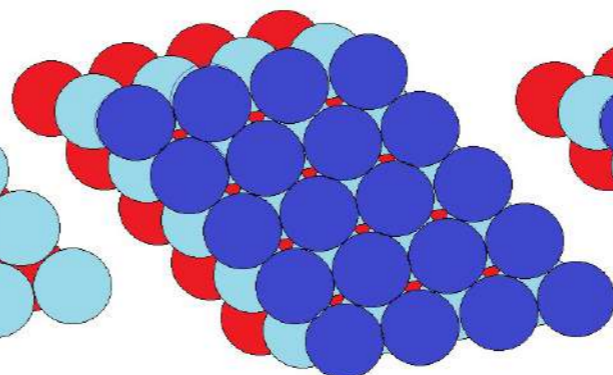
第1層目



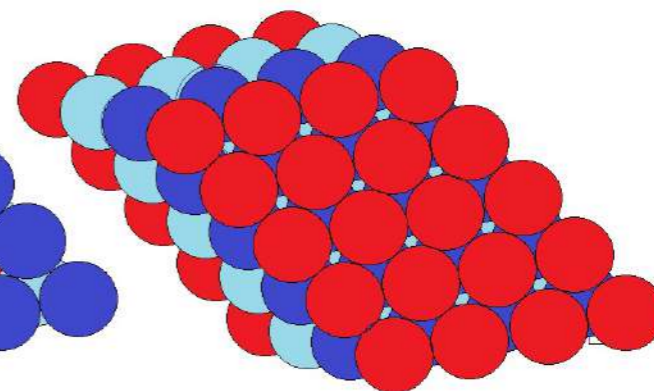
第2層目



第3層目



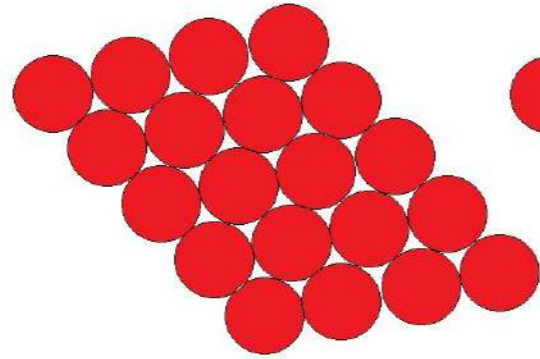
第4層目



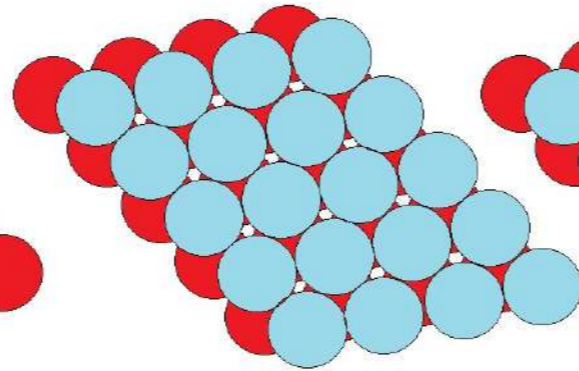


# 六方最密充填構造

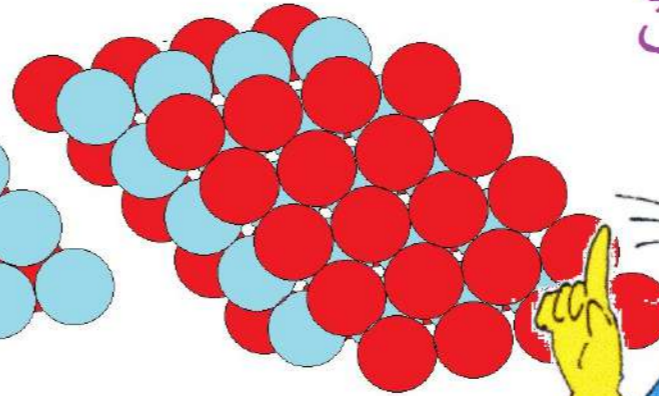
第1層目



第2層目



第3層目

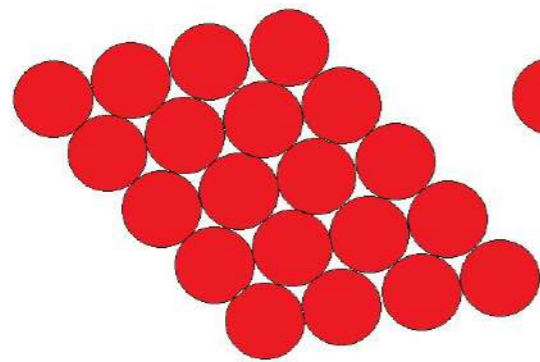


では、  
これを動画で。

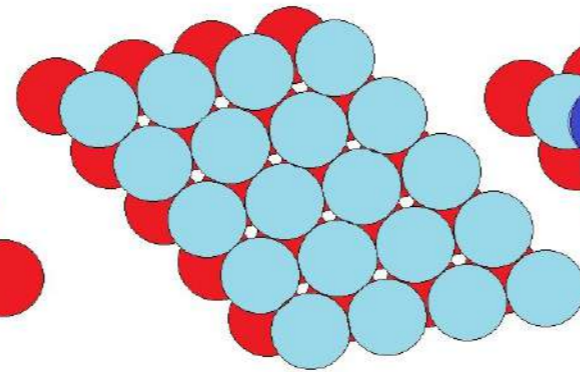


# 立方最密充填構造(面心立方格子)

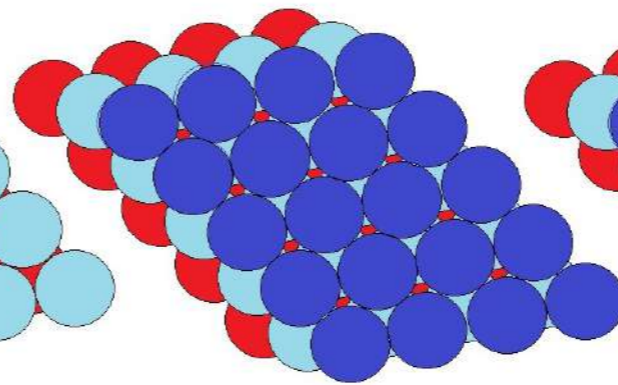
第1層目



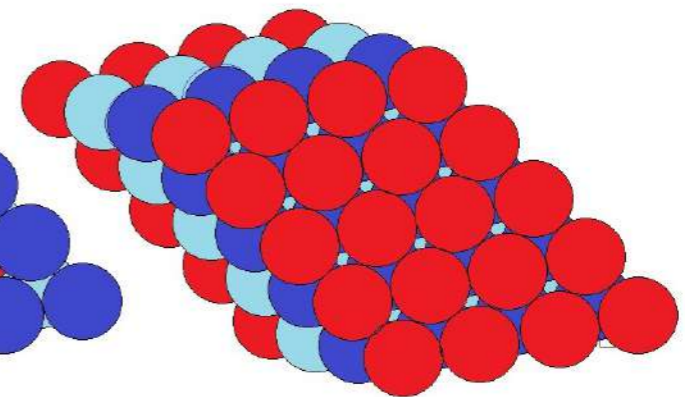
第2層目



第3層目



第4層目



球を密に詰めて  
重ねてみる。

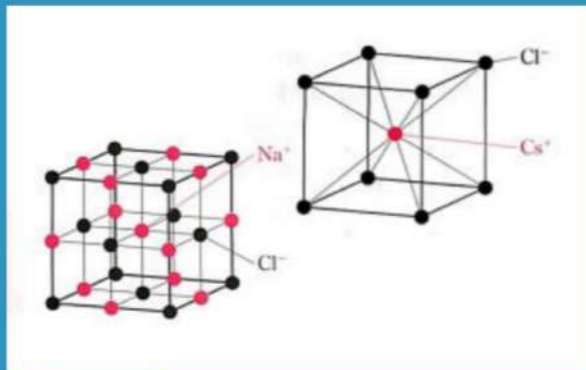


見る方向がポイントだね('▽`\*)。



# まずは軽めにイオン結晶

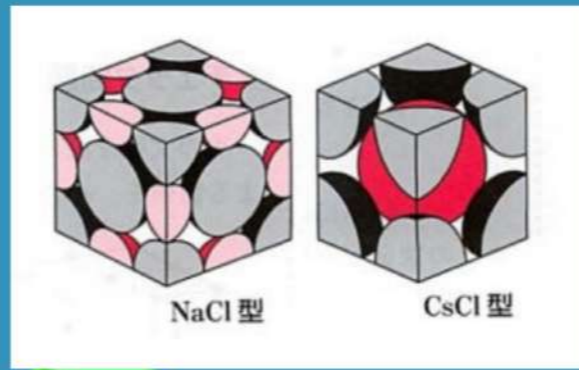
## テーマ1 結晶 イオン結晶についての ②、③、④



▶ 詳細

### ②陽イオンと陰イオンの配置は？

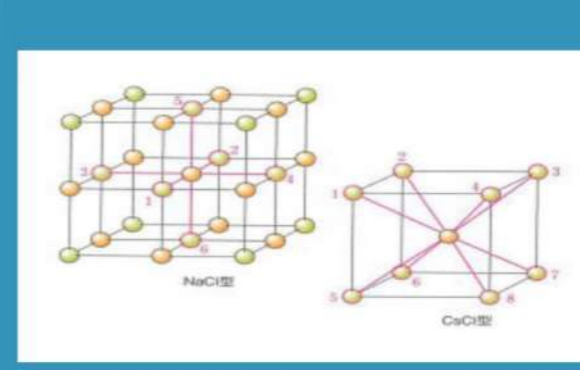
NaCl型では、一方のイオンのみに注目すると、その中心は、面心立方格子と同様に配置されています。他方のイオンのみに注目しても同様です。CsCl型では、一方のイオンのみに注目すると、その中心は、立方体の各頂点に（単純立方格子と同様に）配置されています。他方のイオンのみに注目しても同様です。



▶ 詳細

### ③単位格子中の各イオンの個数は？

NaCl型では、各イオンの配置が面心立方格子と同様ですから、（面心立方格子と同様に）単位格子中に各イオンとも4個分ずつ含まれることになります。また、CsCl型では、各イオンの配置が単純立方格子と同様ですから、（単純立方格子と同様に）単位格子中に各イオンとも1個分ずつ含まれることになります。



▶ 詳細

### ④配位数はどちらが多い？

あるイオンが、（最近接で）何個の反対符号のイオンに囲まれているか、その数を配位数と言います。NaCl型では6、CsCl型では8です。金属結晶の学習では、最近接原子数が多いほど、充填率も高くなる傾向がうかがえました。とすると、CsCl型の方が、NaCl型よりも密に集合している（より安定である）のでは？と予想できますね。実は、次項で考える「限界半径比」的にはNaCl型もCsCl型も成立できるという場合には、NaCl型ではなく、CsCl型が成立します。

---

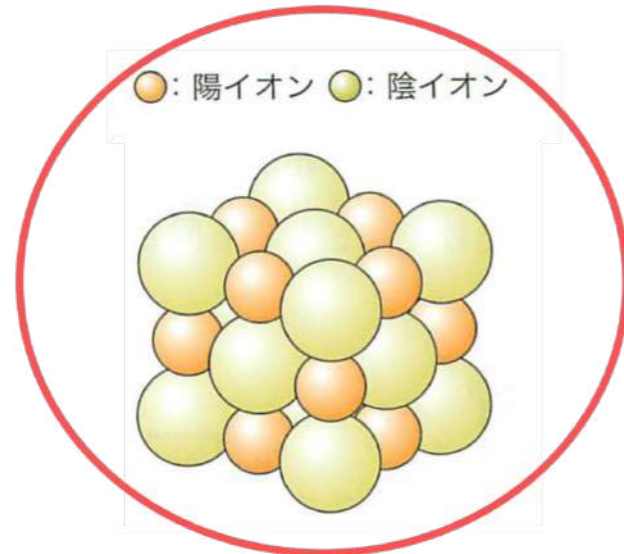
金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

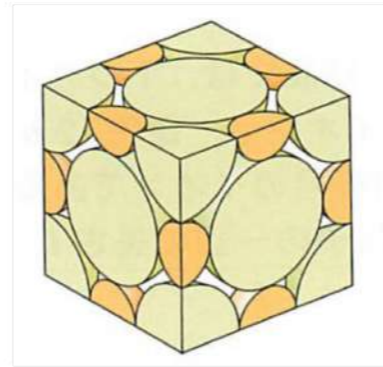
共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。

---

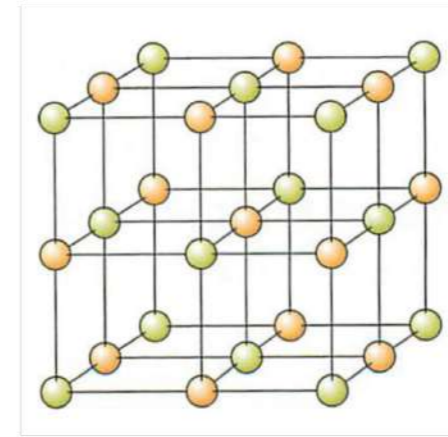
# NaCl型



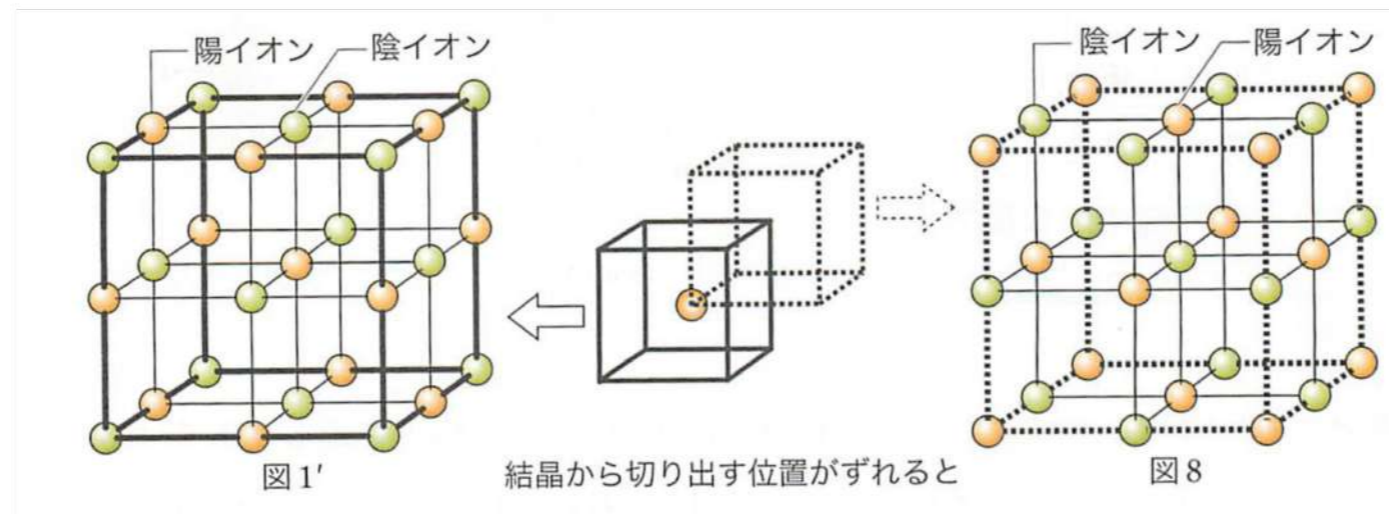
充填状態



単位格子

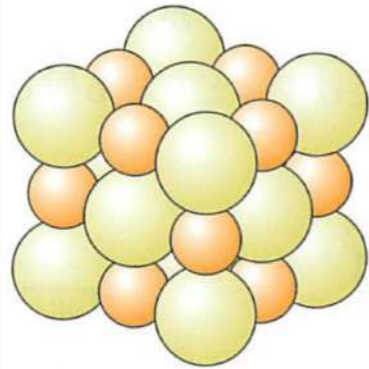


粒子の配列

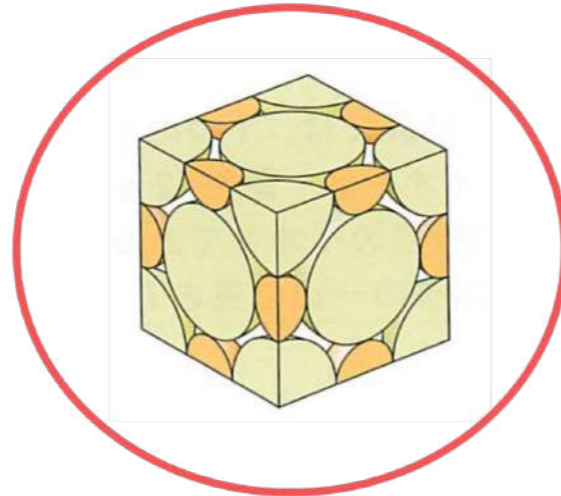


# NaCl型

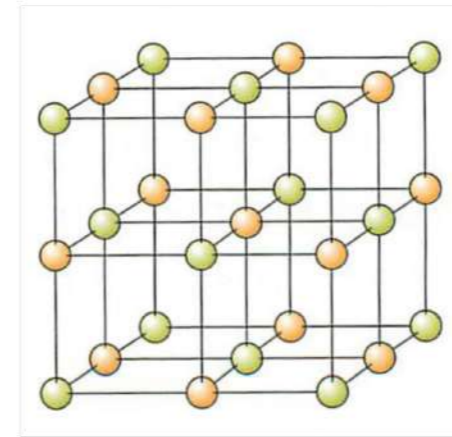
●: 陽イオン ●: 陰イオン



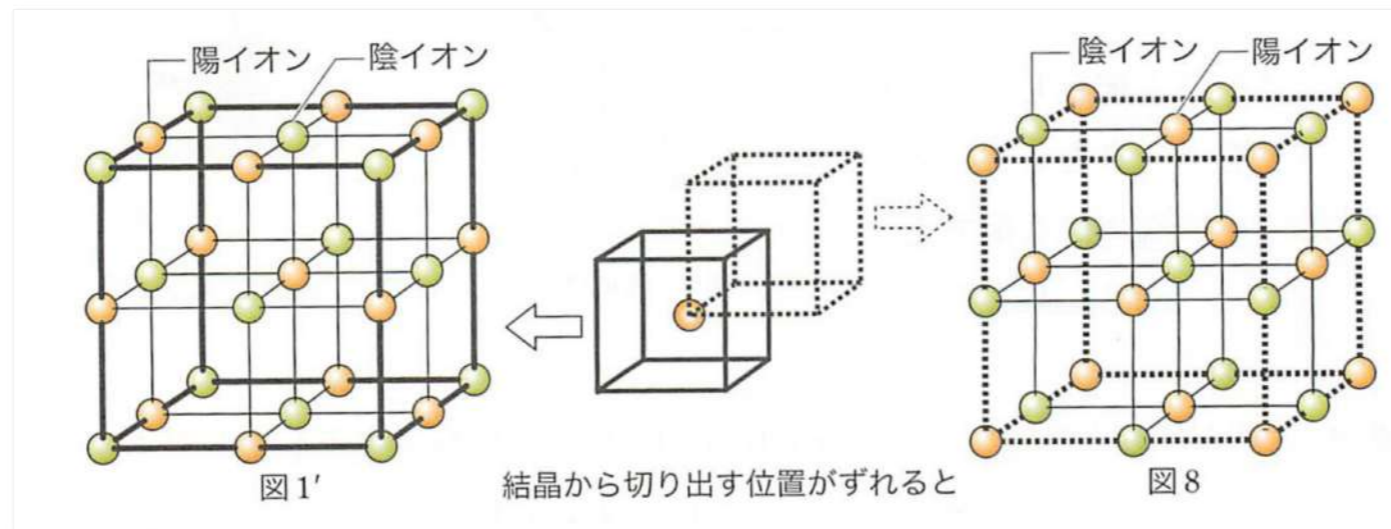
充填状態



単位格子

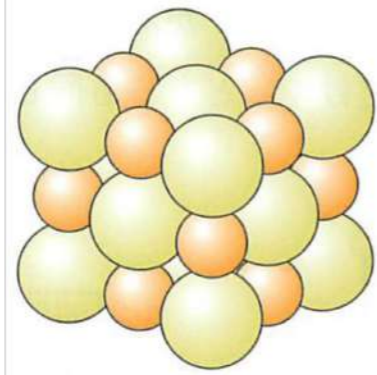


粒子の配列

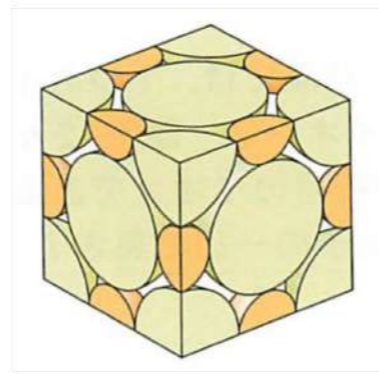


# NaCl型

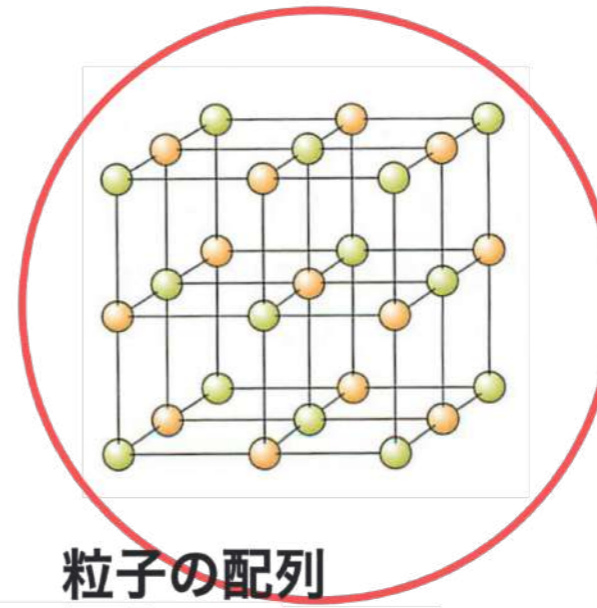
●: 陽イオン ●: 陰イオン



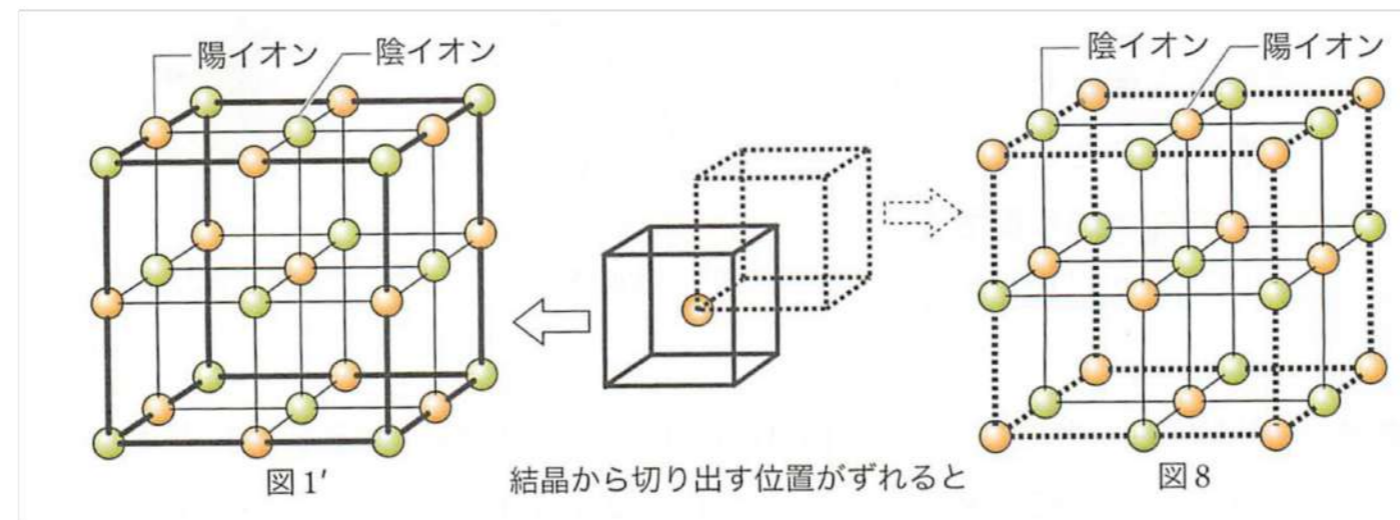
充填状態



単位格子



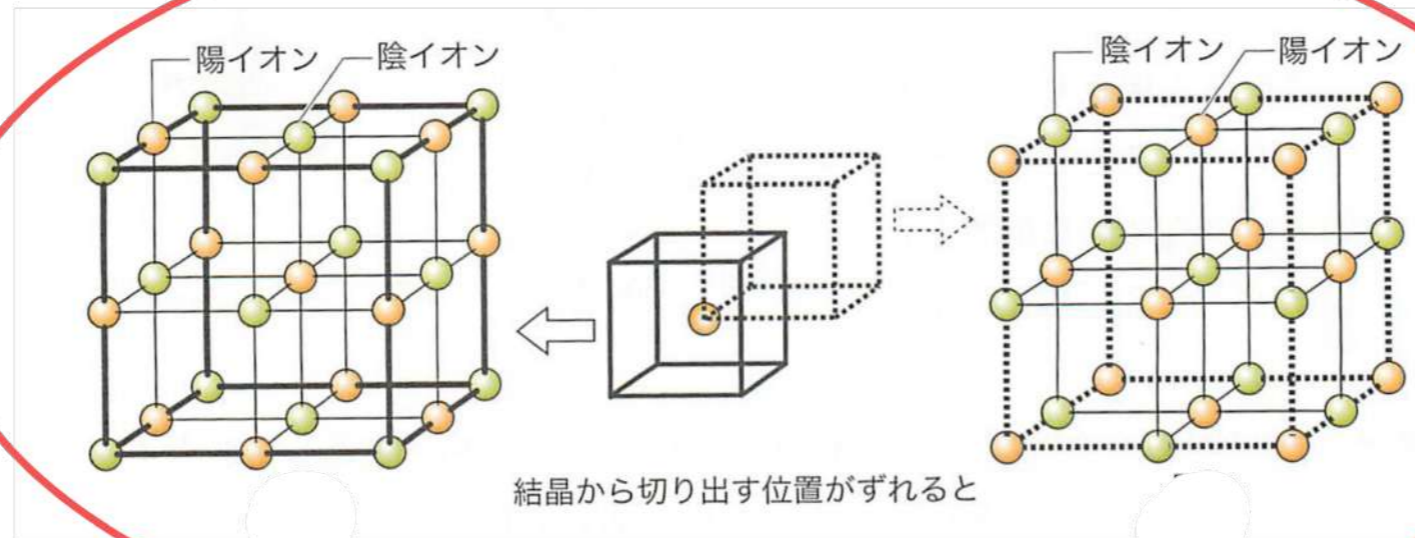
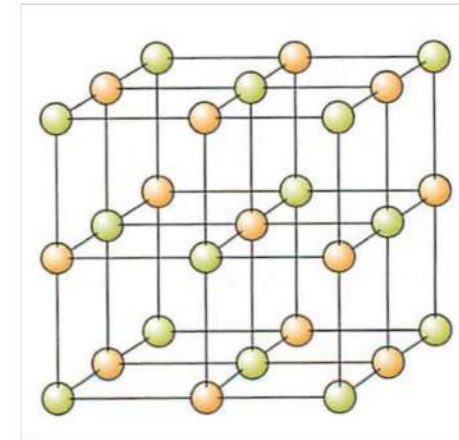
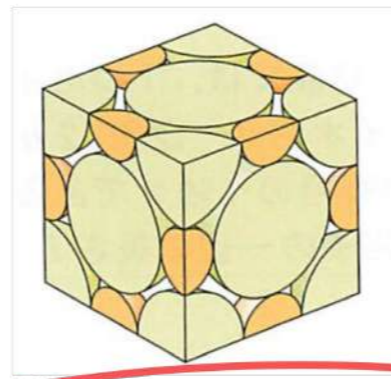
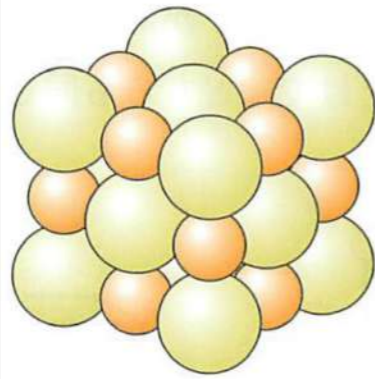
粒子の配列





# NaCl型

●: 陽イオン ●: 陰イオン



## 粒子の配列

**黄色が各頂点に！**

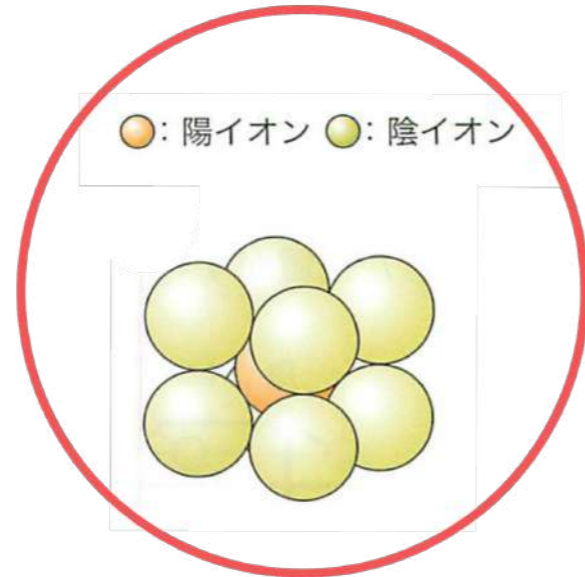


金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

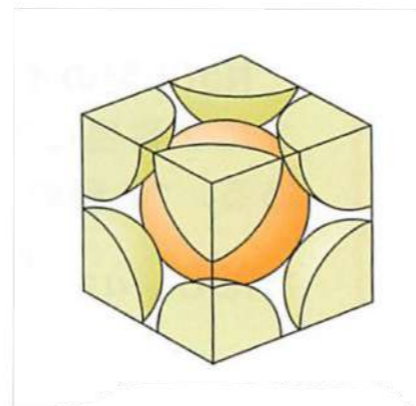
イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。

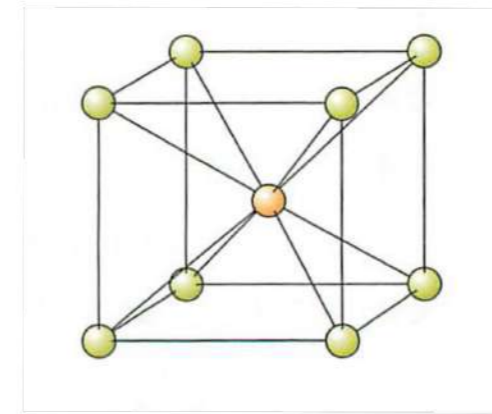
# CsCl型



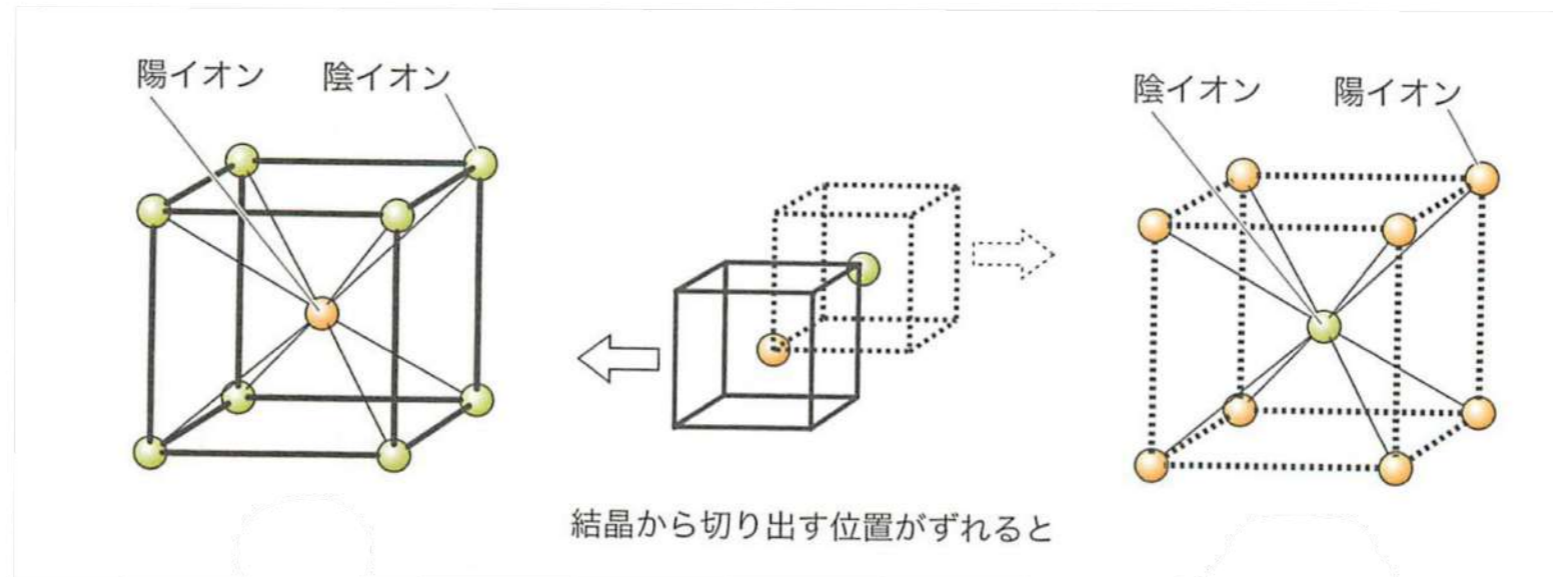
充填状態



単位格子

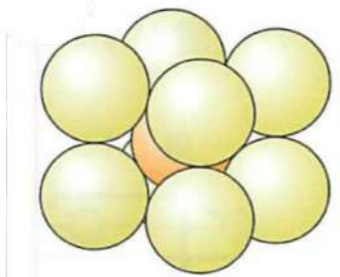


粒子の配列



# CsCl型

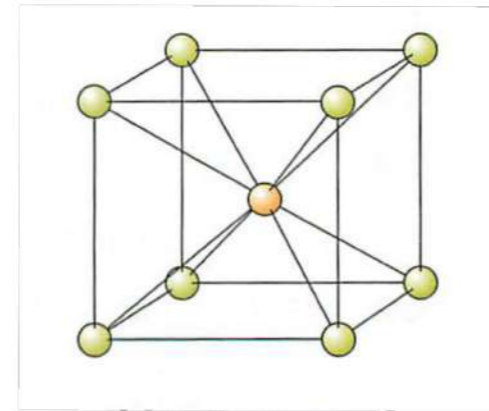
●: 陽イオン ●: 陰イオン



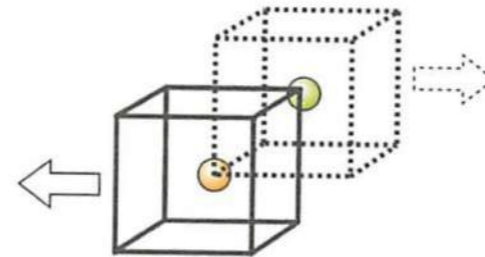
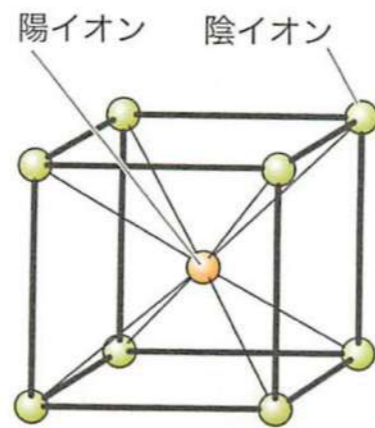
充填状態



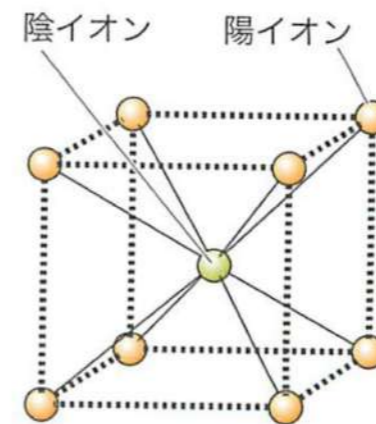
単位格子



粒子の配列

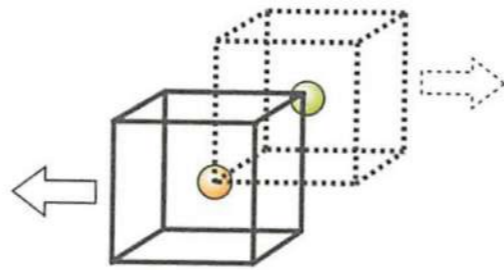
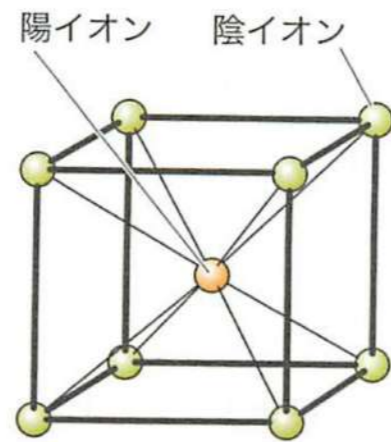
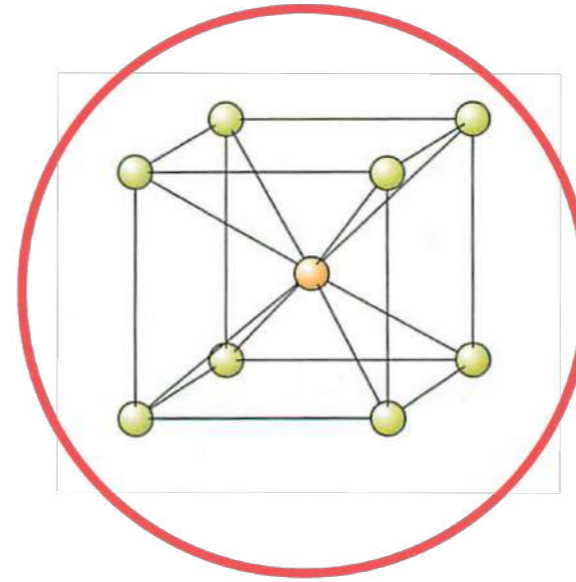
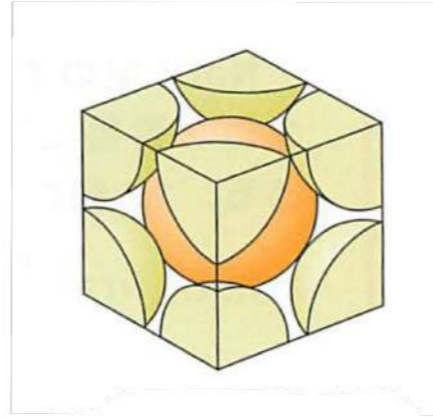
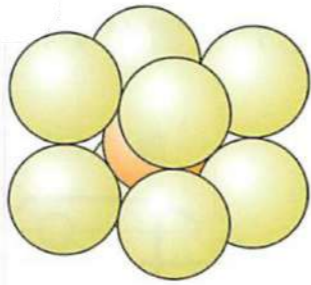


結晶から切り出す位置がずれると

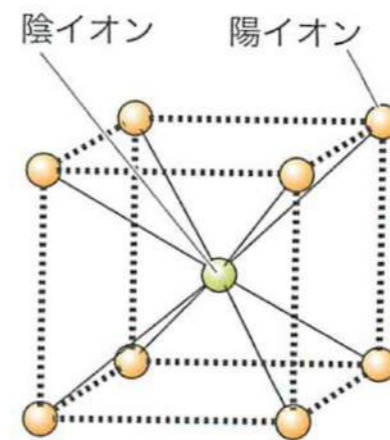


# CsCl型

●: 陽イオン ●: 陰イオン

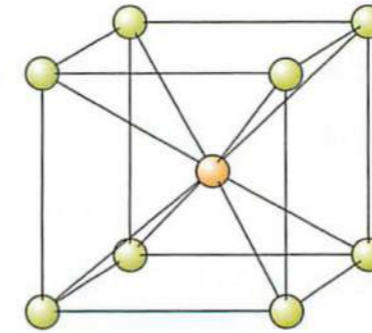
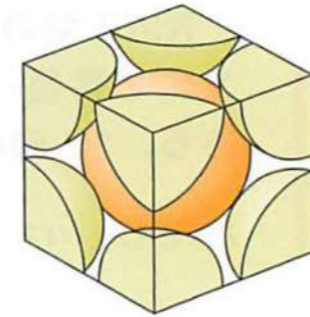
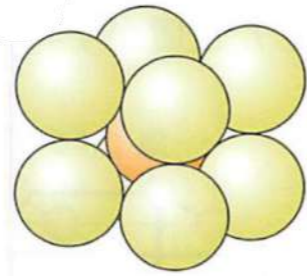


結晶から切り出す位置がずれると

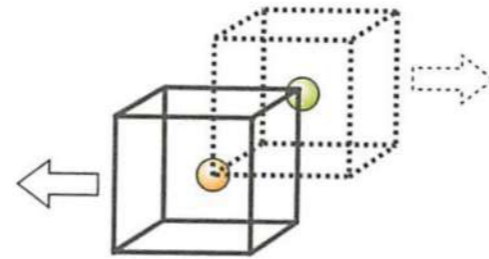
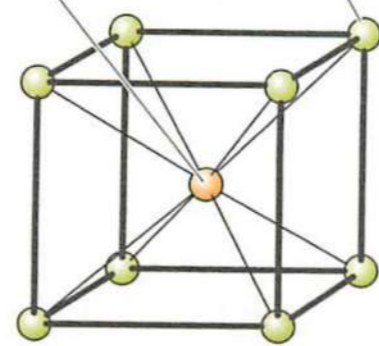


# CsCl型

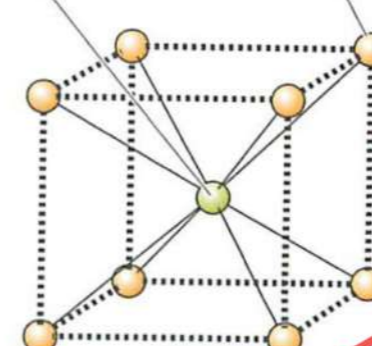
●: 陽イオン ●: 陰イオン



陽イオン 陰イオン



陰イオン 陽イオン



結晶から切り出す位置がずれると

## 粒子の配列

**赤が各頂点に！**



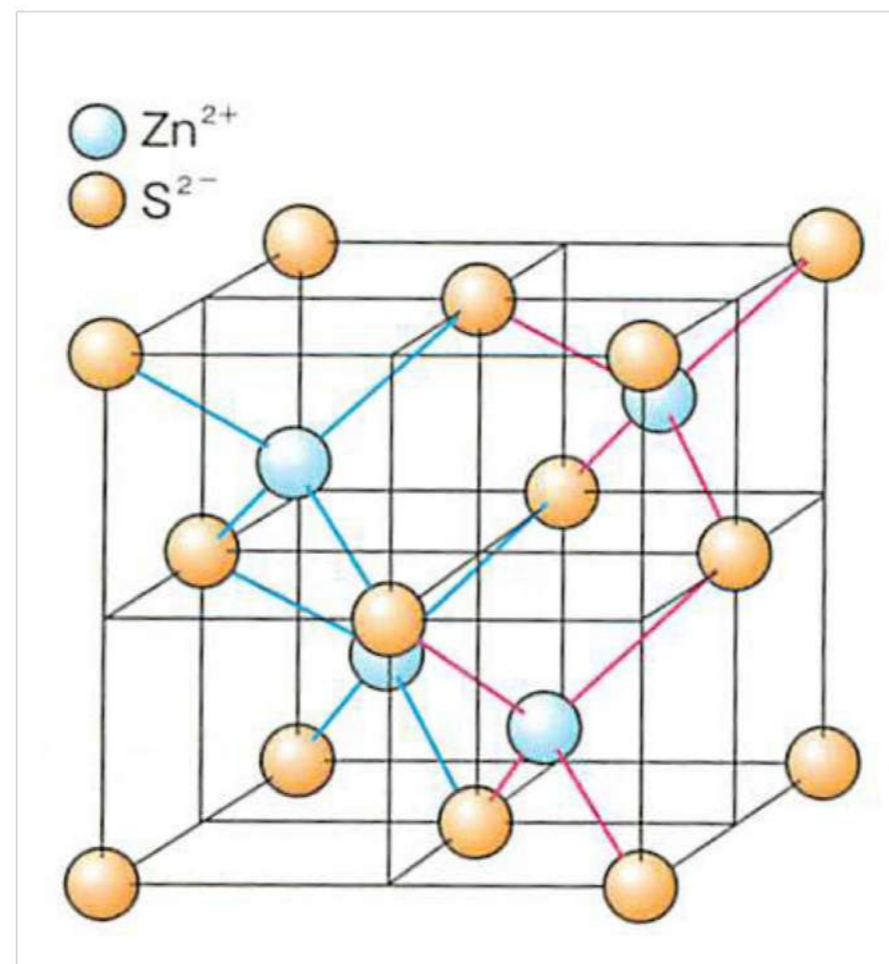


金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。

# ZnS型

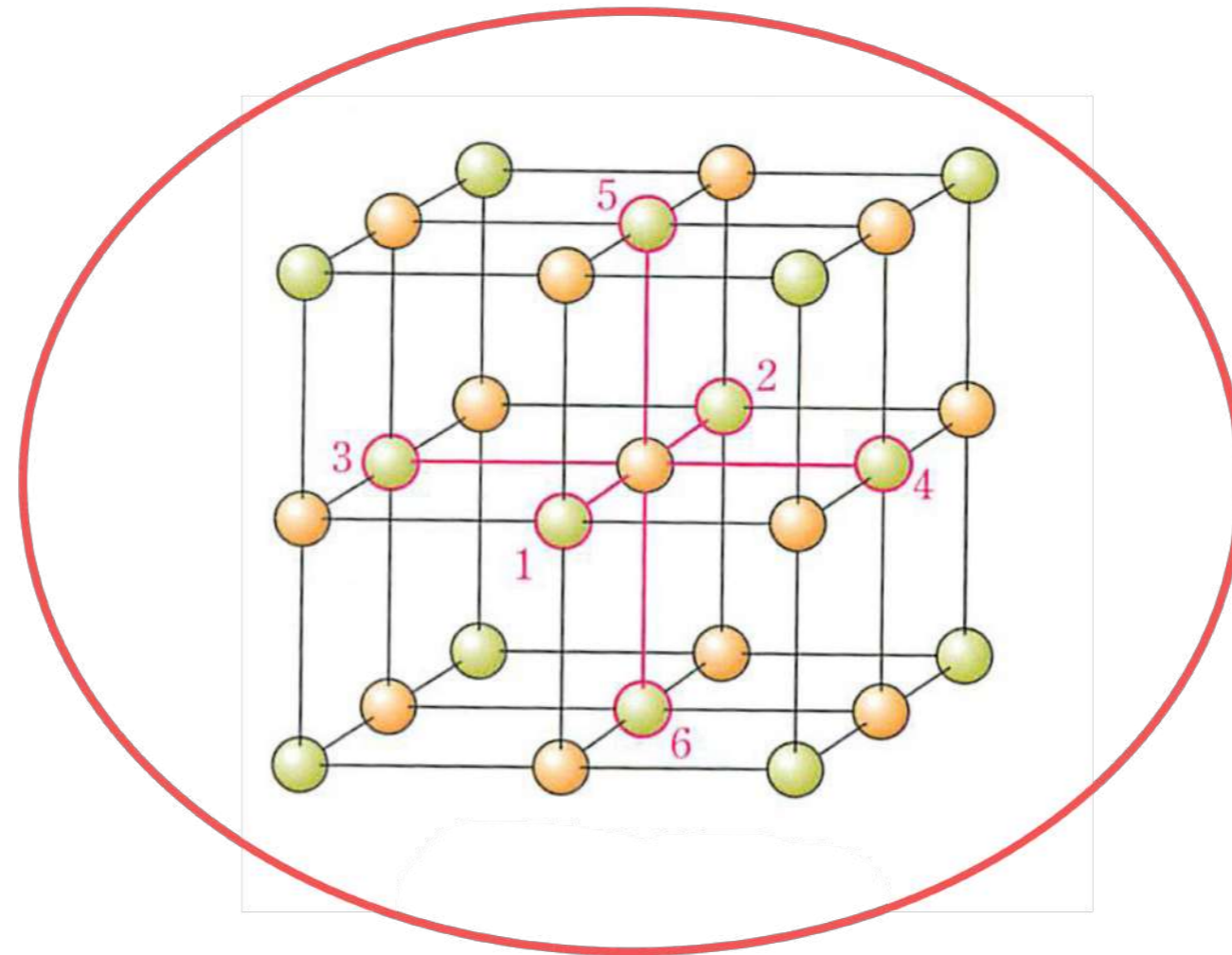


金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。

# NaCl型

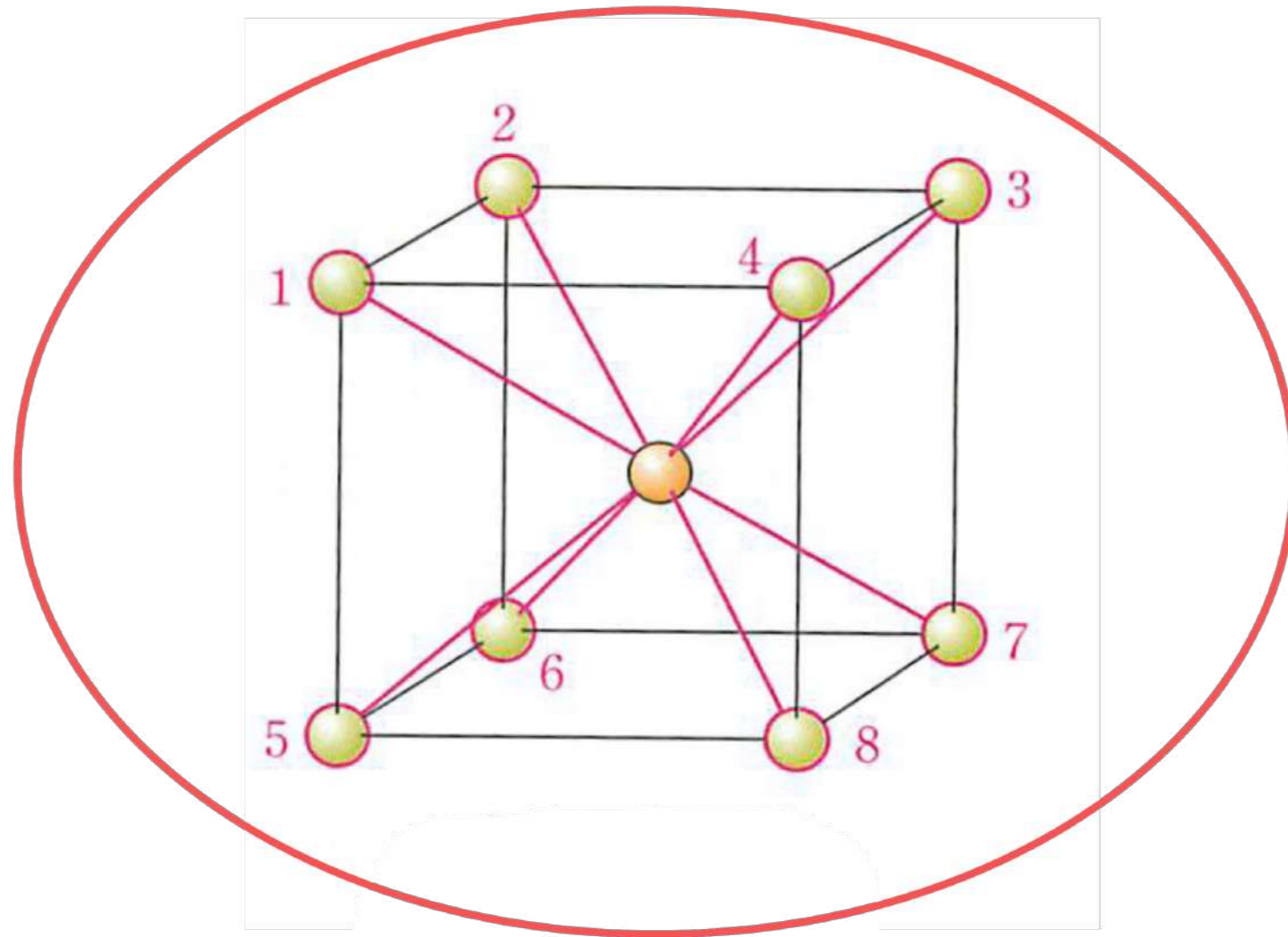


金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。

# CsCl型

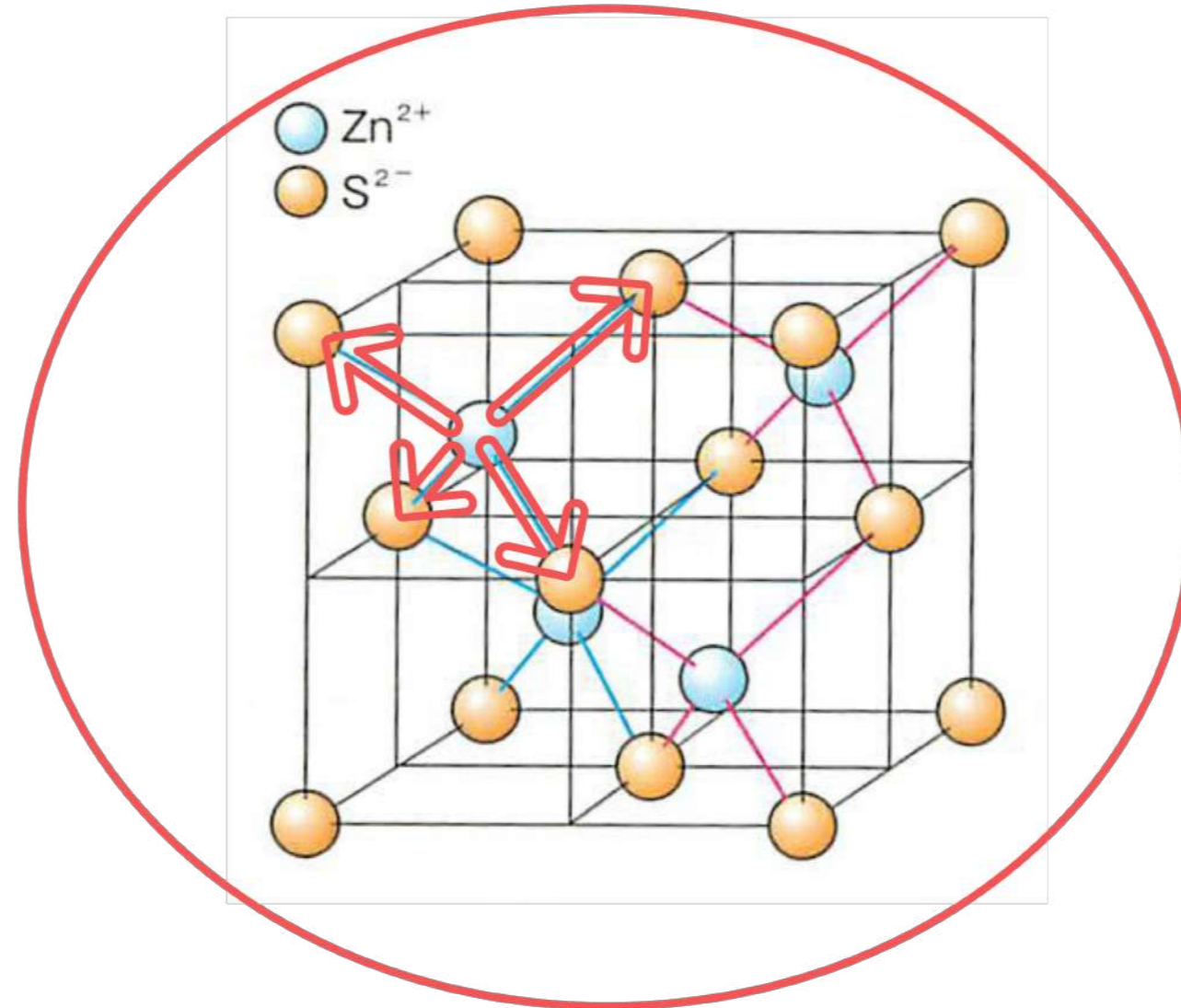


金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。

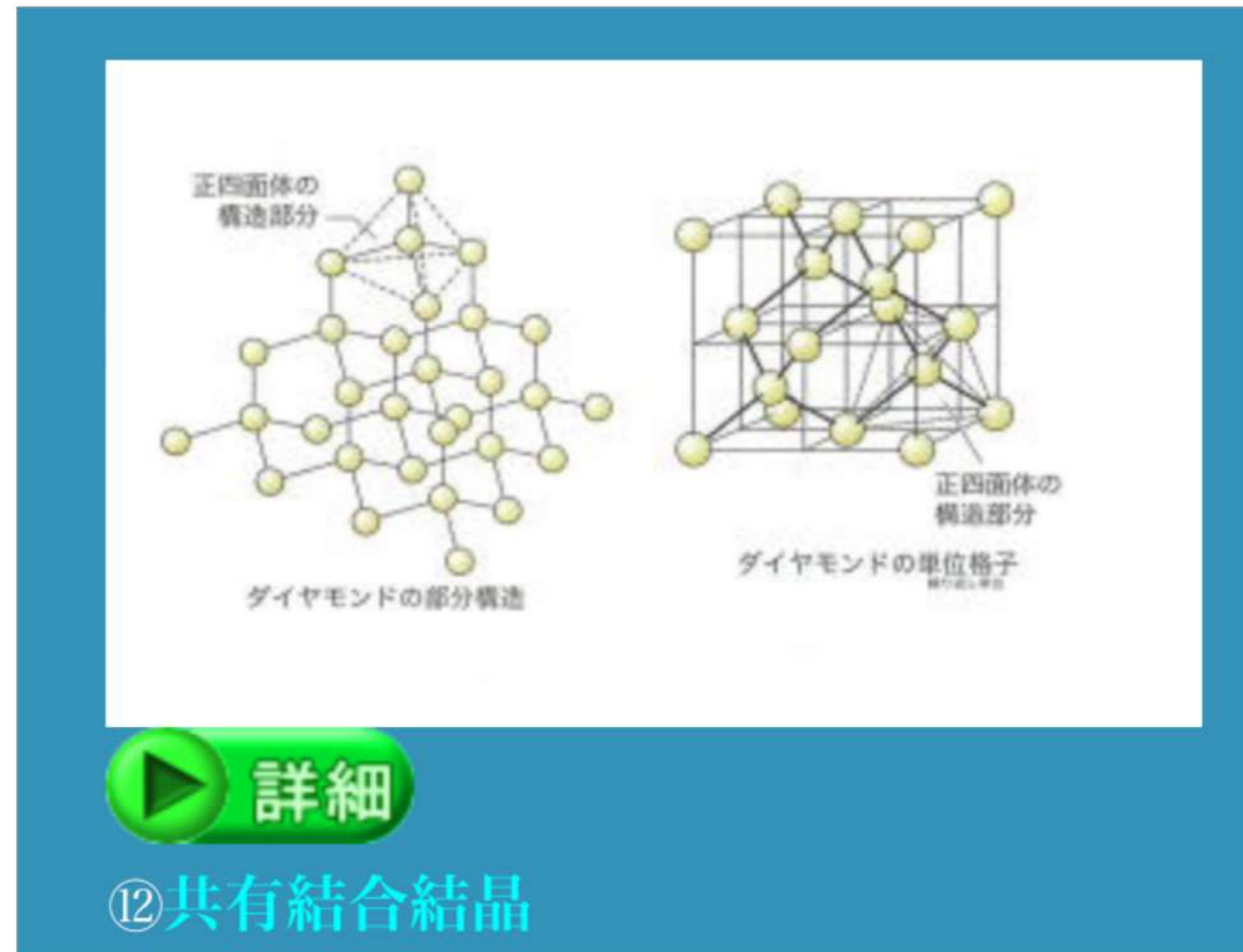
# ZnS型





# 共有結合結晶

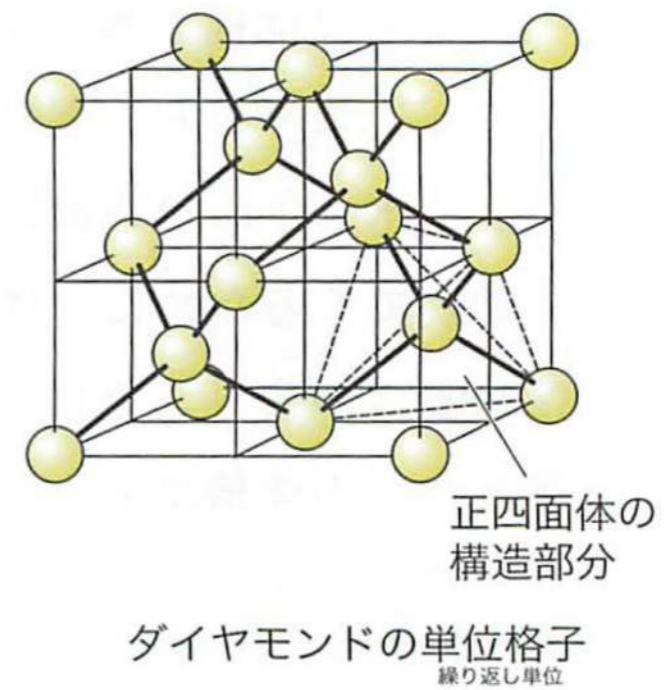
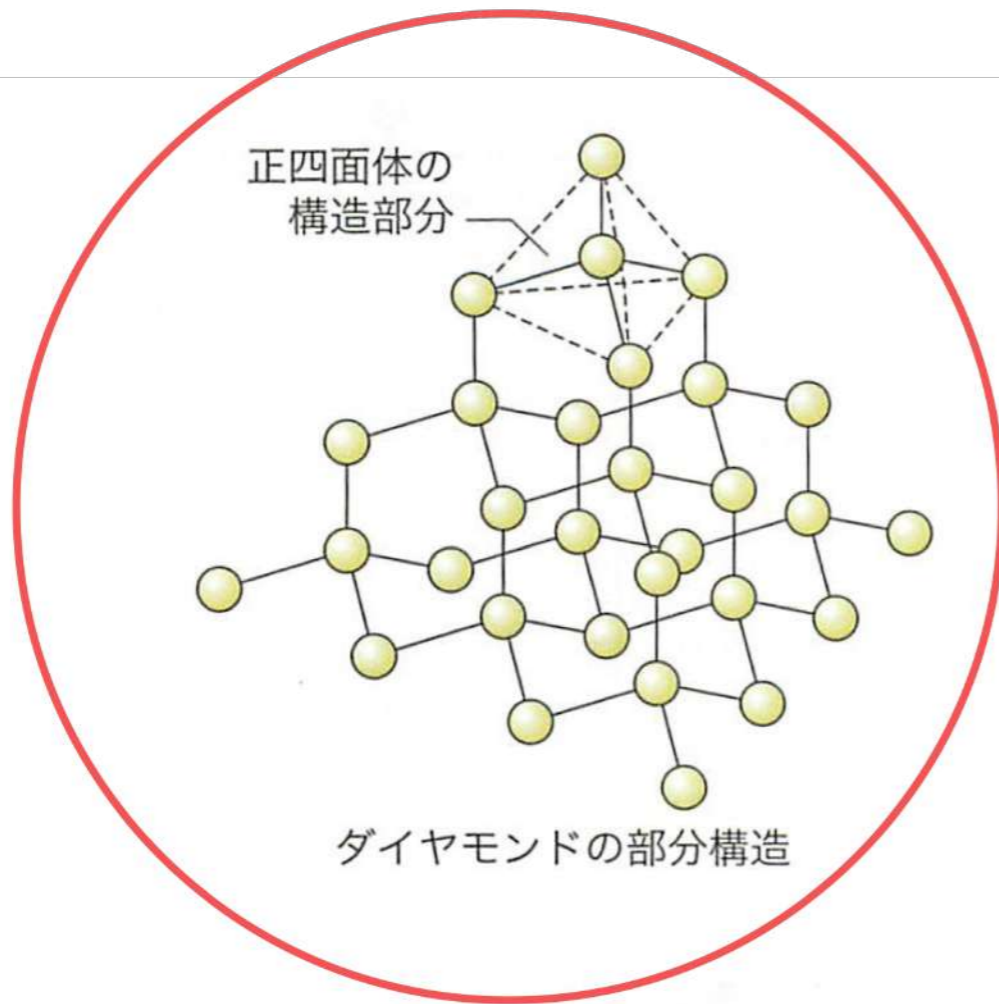
テーマ1 結晶 ⑫ 共有結合結晶  
を参照。

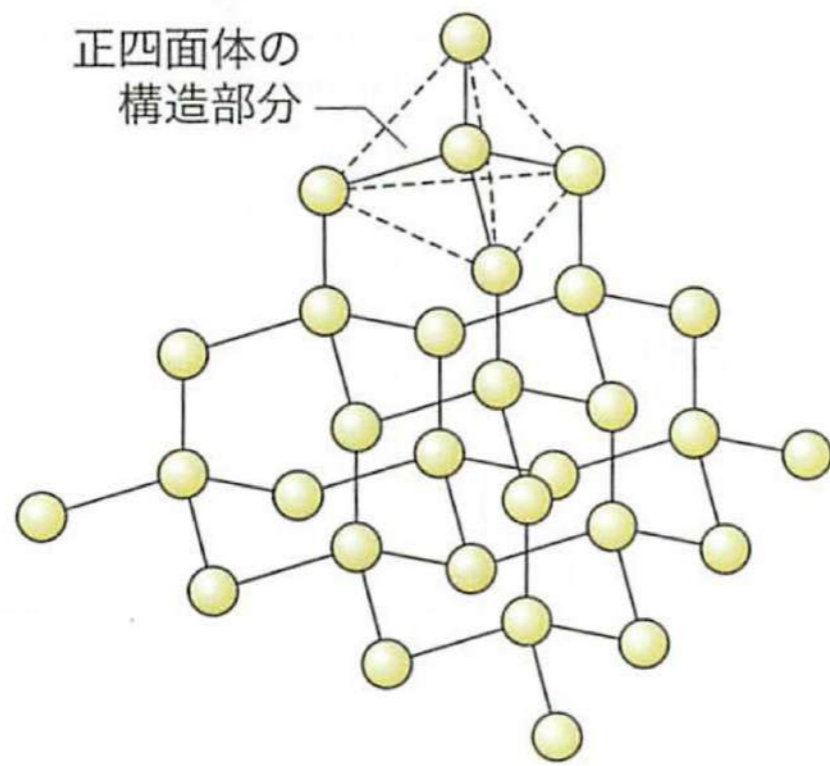


金属結晶には、格子、格子、構造などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

イオン結晶には、型、型、型などがあり、配位数はそれぞれ、、である。

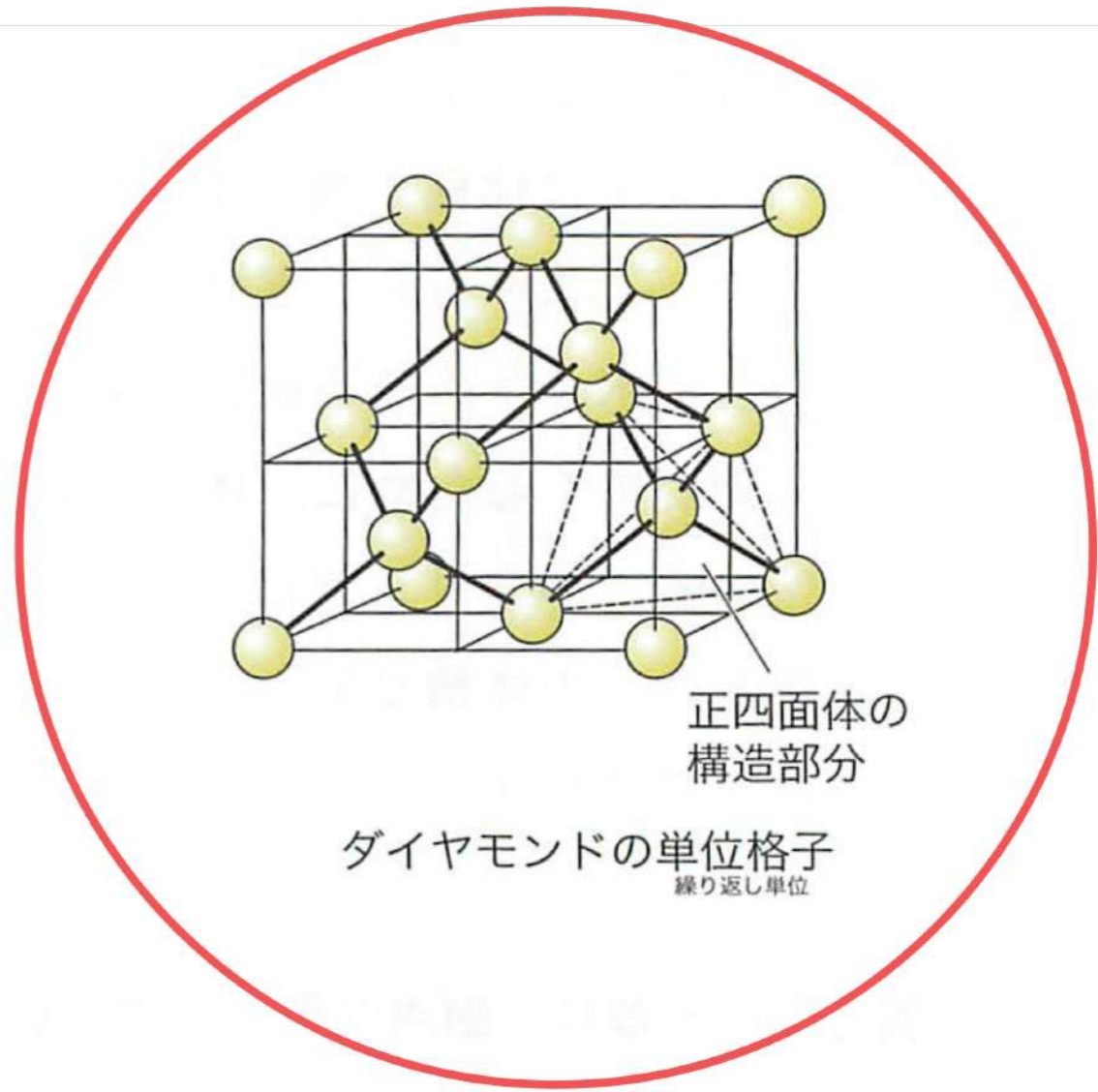
共有結合の結晶の例には、の結晶やの結晶などがあるが、これらの配位数はともにである。





正四面体の  
構造部分

ダイヤモンドの部分構造



正四面体の  
構造部分

ダイヤモンドの単位格子  
繰り返し単位

---

金属結晶には、**体心立方**格子、**面心立方**格子、**六方最密**構造などがあり、配位数はそれぞれ**8**、**12**、**12**である。

イオン結晶には、**NaCl**型、**CsCl**型、**ZnS**型などがあり、配位数はそれぞれ**6**、**8**、**4**である。

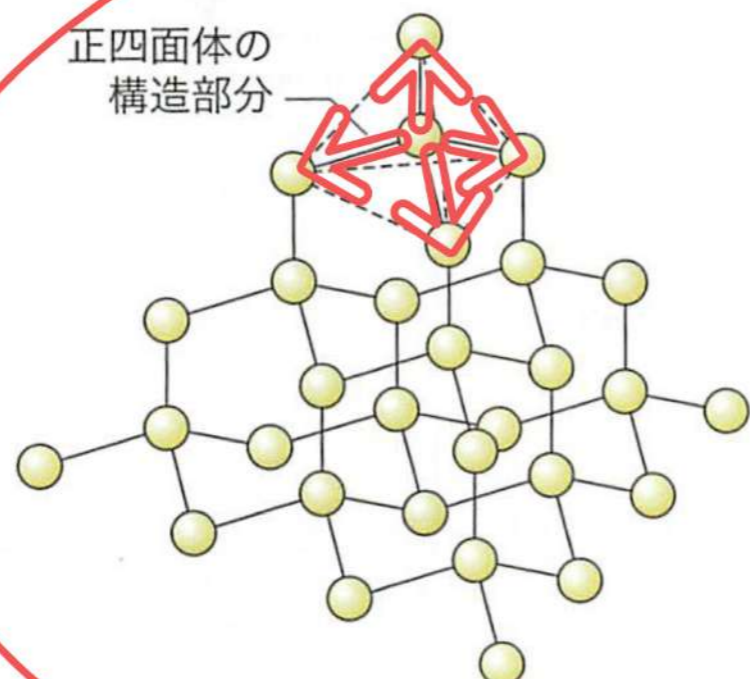
共有結合の結晶の例には、**ダイヤモンド**の結晶や**ケイ素**の結晶などがあるが、これらの配位数はともに**□**である。

---

金属結晶には、**体心立方** 格子、**面心立方** 格子、**六方最密** 構造などがあり、配位数はそれぞれ **8**、**12**、**12** である。

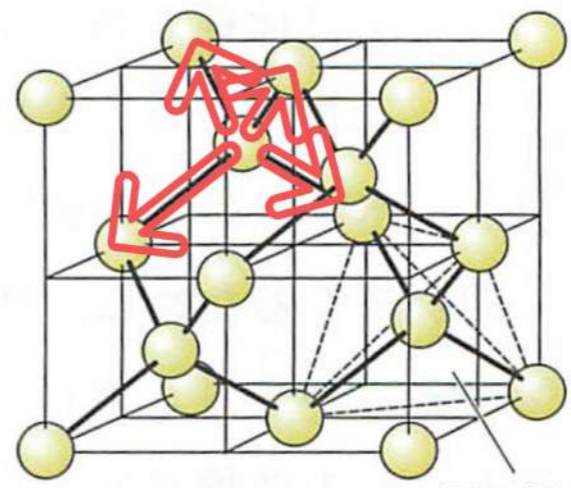
イオン結晶には、**NaCl** 型、**CsCl** 型、**ZnS** 型などがあり、配位数はそれぞれ **6**、**8**、**4** である。

共有結合の結晶の例には、**ダイヤモンド** の結晶や **ケイ素** の結晶などがあるが、これらの配位数はともに **4** である。



正四面体の  
構造部分

ダイヤモンドの部分構造



正四面体の  
構造部分

ダイヤモンドの単位格子  
繰り返し単位

# より深く金属結晶

## テーマ1 結晶 ④、⑤ を参照。

金属結晶を例に  
結晶はいかに密か！ ← 最近接の粒子数

↑

充填率

↑

単位格子中の粒子数    単位格子の一辺の長さ $l$ と原子半径 $r$ の関係

↑

粒子の充填状態    粒子の配列

拡大

### ④金属結晶の学習

では、金属の結晶（金属結晶）にあれこれと考えてみましょう。ここでは、金属結晶を題材に、結晶においては、いかに構成粒子が密に集合しているかを考えてみましょう。言い換えれば、充填率を計算してみましょう。充填率を計算するためには、単位格子中の粒子数や単位格子の一辺の長さ $l$ と原子半径 $r$ との関係が分からなくてはなりません。

体心立方格子    面心立方格子    六方最密構造

### ⑤金属結晶：充填率の計算

まず、原子の配列を眺め、それから、単位格子中の粒子数や単位格子の一辺の長さ $l$ と原子半径 $r$ との関係を整理し、それらをもとに、充填率を計算してみましょう。

原子の配列

おすすめ動画：六方最密構造と立方最密構造(面心立方格子)はどう違う？

単位格子中の原子数

単位格子の一辺の長さ $l$ と原子半径 $r$ との関係

充填率の計算



## 金属結晶

金属結晶を例にして、結晶がいかに密であるか、すなわち、その  
[ ] について考えてみよう。充填率とは [ ]  
に対して [ ] が占める割合(%)のことであり、  
それを求めるためには、[ ] と [ ] との  
関係や、[ ] の個数を知る必要がある。

## 金属結晶

金属結晶を例にして、結晶がいかに密であるか、すなわち、その  
**充填率** について考えてみよう。充填率とは   
に対して  が占める割合(%)のことであり、  
それを求めるためには、 と  との  
関係や、 の個数を知る必要がある。

## 金属結晶

金属結晶を例にして、結晶がいかに密であるか、すなわち、その  
**充てん率** について考えてみよう。充てん率とは **単位格子の体積**  
に対して  が占める割合(%)のことであり、  
それを求めるためには、 と  との  
関係や、 の個数を知る必要がある。

## 金属結晶

金属結晶を例にして、結晶がいかに密であるか、すなわち、その  
[充てん率] について考えてみよう。充てん率とは [単位格子の体積]  
に対して [単位格子中の粒子の体積] が占める割合(%)のことであり、  
それを求めるためには、[ ] と [ ] との  
関係や、[ ] の個数を知る必要がある。

## 金属結晶

金属結晶を例にして、結晶がいかに密であるか、すなわち、その  
[充てん率] について考えてみよう。充てん率とは [単位格子の体積]  
に対して [単位格子中の粒子の体積] が占める割合(%)のことであり、  
それを求めるためには、[単位格子の一辺の長さ] と [原子半径] との  
関係や、[ ] の個数を知る必要がある。

## 金属結晶

金属結晶を例にして、結晶がいかに密であるか、すなわち、その **充てん率** について考えてみよう。充てん率とは **単位格子の体積** に対して **単位格子中の粒子の体積** が占める割合(%)のことであり、それを求めるためには、**単位格子の一辺の長さ** と **原子半径** との関係や **単位格子中の粒子** の個数を知る必要がある。

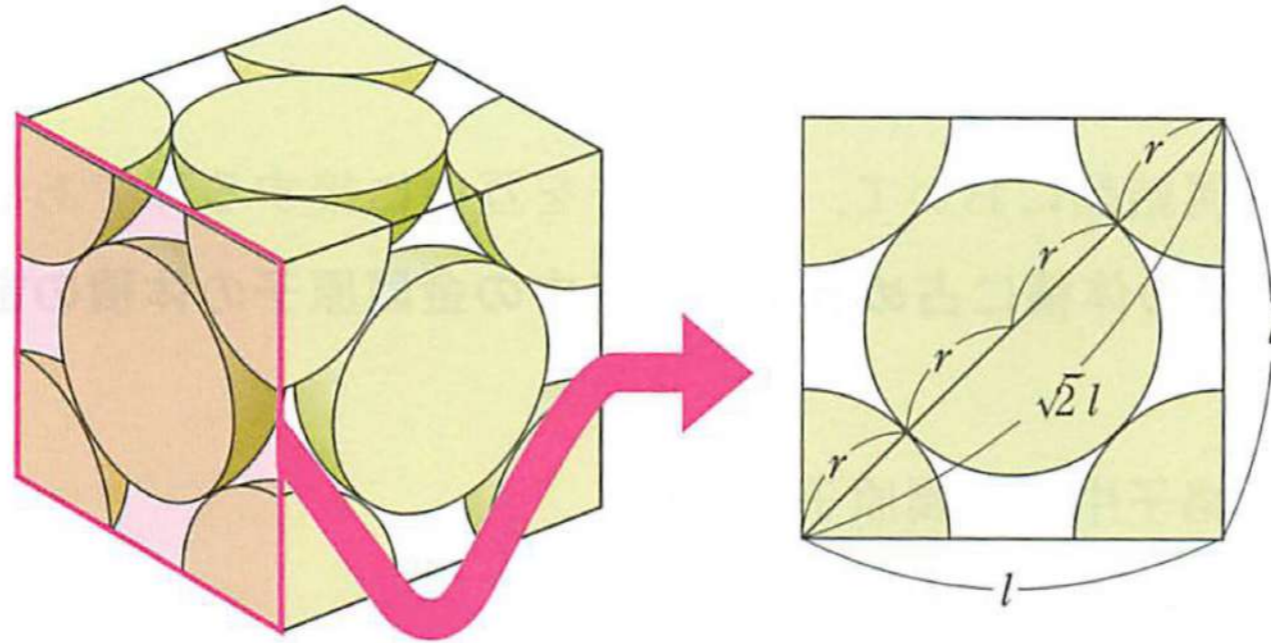
単位格子の一边の長さ $a$ と原子半径 $r$ との関係は、面心立方格子の場合は 、体心立方格子の場合は  である。また、単位格子中の粒子の個数は、面心立方格子では 、体心立方格子では  である。これらを踏まえてそれぞれの充てん率を計算すると、面心立方格子では %、体心立方格子では %となる。なお、面心立方格子は  とも呼ばれることから明らかのように、六方最密構造の充てん率もまた %である。

金属結晶についてこれらをまとめると、次表の通りとなる。

単位格子の**一辺の長さ**と原子半径  $r$  との関係は、面心立方格子の場合  
は  $4r = \sqrt{2}l$ 、体心立方格子の場合は  である。ま  
た、単位格子中の粒子の個数は、面心立方格子では 、体心立方格子  
では  である。これらを踏まえてそれぞれの充てん率を計算すると、  
面心立方格子では %、体心立方格子では %となる。な  
お、面心立方格子は  とも呼ばれることから明らかかなよう  
に、六方最密構造の充てん率もまた %である。

金属結晶についてこれらをまとめると、次表の通りとなる。





面心立方格子の場合

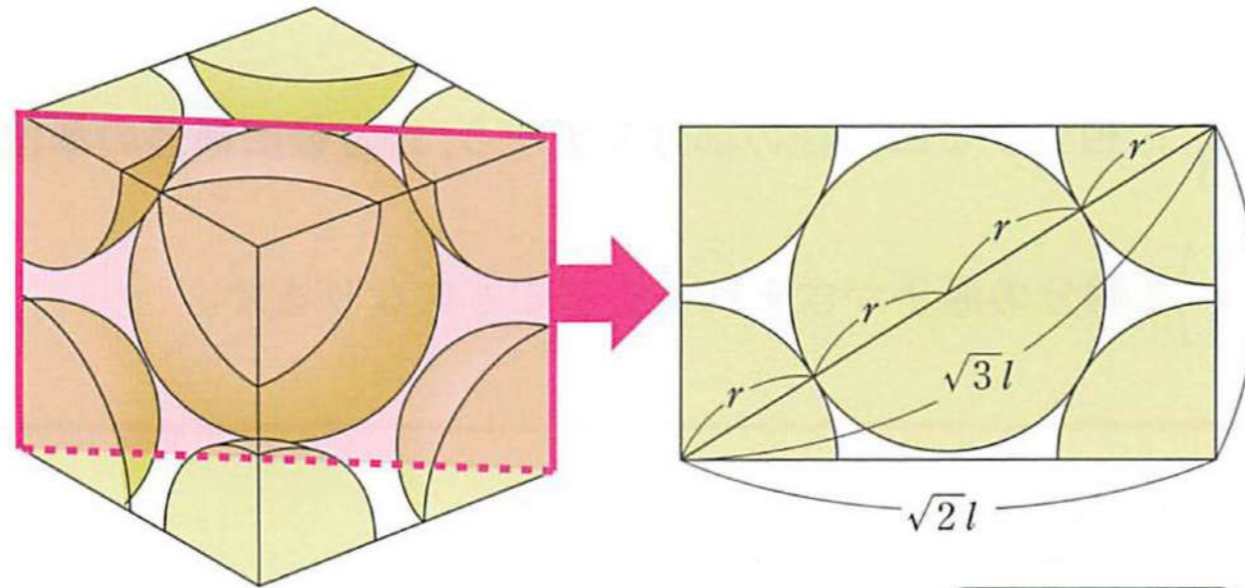
$$4r = \sqrt{2}l$$

単位格子の一辺の長さ  $l$  と原子半径  $r$  の関係は？

面心立方格子の場合： $4r = \sqrt{2}l$  または  $r = \frac{\sqrt{2}}{4}l$

単位格子の一辺の長さ $a$ と原子半径 $r$ との関係は、面心立方格子の場合  
は  $4r = \sqrt{2} a$ 、体心立方格子の場合は  $4r = \sqrt{3} a$  である。ま  
た、単位格子中の粒子の個数は、面心立方格子では  $4$ 、体心立方格子  
では  $2$  である。これらを踏まえてそれぞれの充てん率を計算すると、  
面心立方格子では  $74\%$ 、体心立方格子では  $68\%$  となる。な  
お、面心立方格子は  $fcc$  とも呼ばれることから明らかかなよう  
に、六方最密構造の充てん率もまた  $74\%$  である。

金属結晶についてこれらをまとめると、次表の通りとなる。



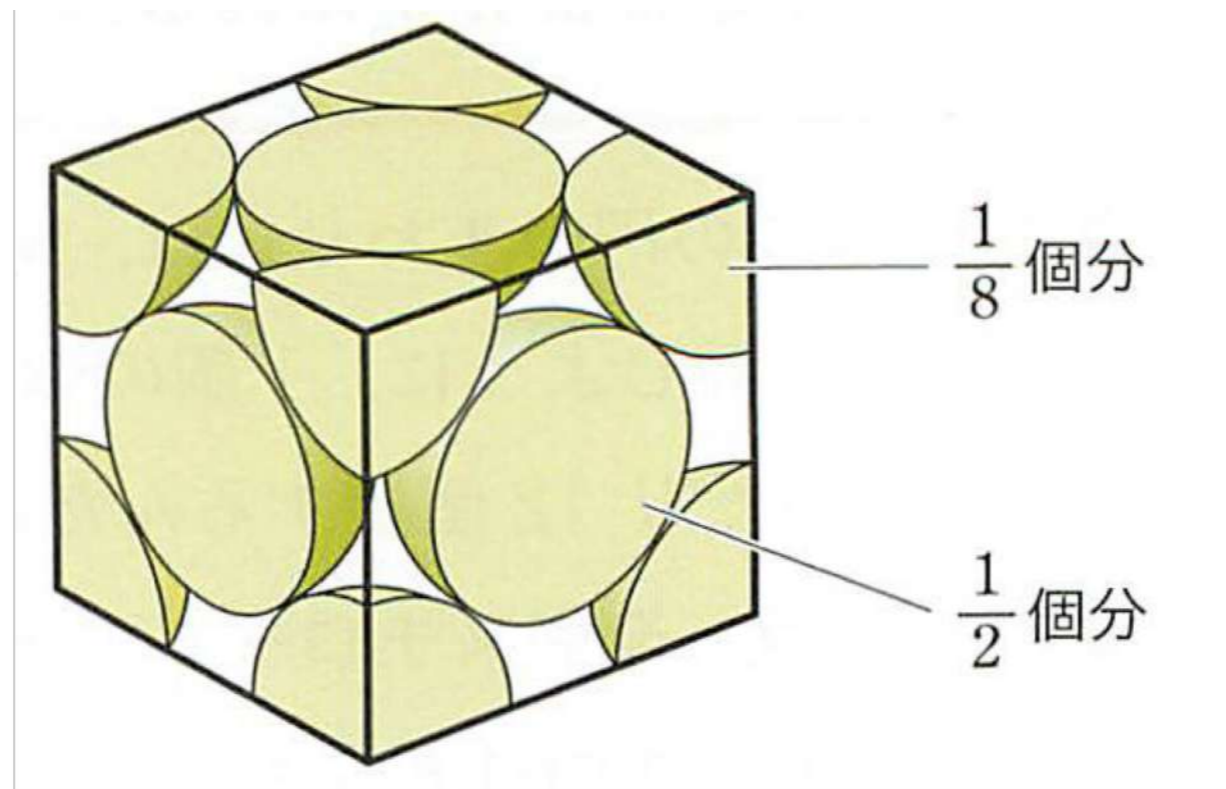
体心立方格子の場合  $4r = \sqrt{3}l$

単位格子の一辺の長さ  $l$  と原子半径  $r$  の関係は？ 

体心立方格子の場合： $4r = \sqrt{3}l$  または  $r = \frac{\sqrt{3}}{4}l$

単位格子の一辺の長さ $a$ と原子半径 $r$ との関係は、面心立方格子の場合  
は  $4r = \sqrt{2} a$ 、体心立方格子の場合は  $4r = \sqrt{3} a$  である。ま  
た、単位格子中の粒子の個数は、面心立方格子では  $4$ 、体心立方格子  
では  $2$  である。これらを踏まえてそれぞれの充てん率を計算すると、  
面心立方格子では  $74\%$ 、体心立方格子では  $68\%$  となる。な  
お、面心立方格子は  $fcc$  とも呼ばれることから明らかかなよう  
に、六方最密構造の充てん率もまた  $74\%$  である。

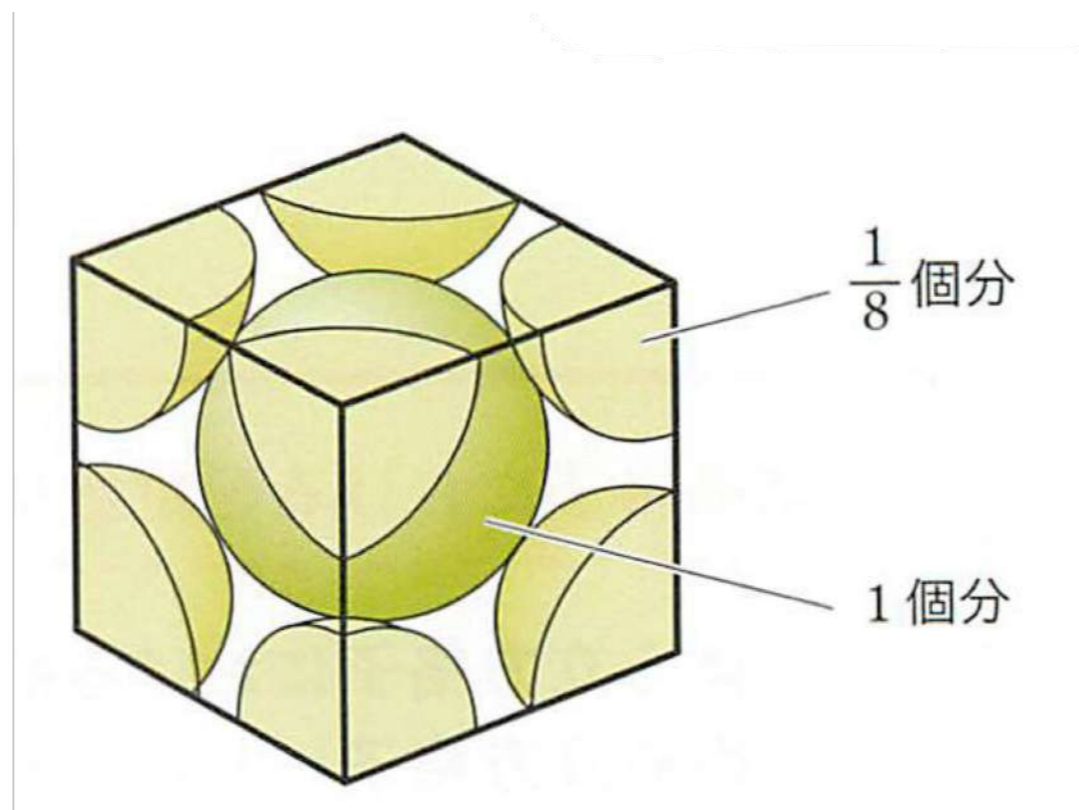
金属結晶についてこれらをまとめると、次表の通りとなる。



合計で  $\left(\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 1 =\right)$  **4個分の原子**

単位格子の一辺の長さ $a$ と原子半径 $r$ との関係は、面心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{2} a$ 、体心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{3} a$  である。また、単位格子中の粒子の個数は、面心立方格子では  $4$ 、体心立方格子では  $2$  である。これらを踏まえてそれぞれの充てん率を計算すると、面心立方格子では  $\frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 74\%$ 、体心立方格子では  $\frac{\pi\sqrt{3}}{6} \approx 68\%$  となる。なお、面心立方格子は  $\frac{FCC}{面心立方格子}$  とも呼ばれることから明らかかなように、六方最密構造の充てん率もまた  $\frac{\pi}{3\sqrt{2}} \approx 74\%$  である。

金属結晶についてこれらをまとめると、次表の通りとなる。

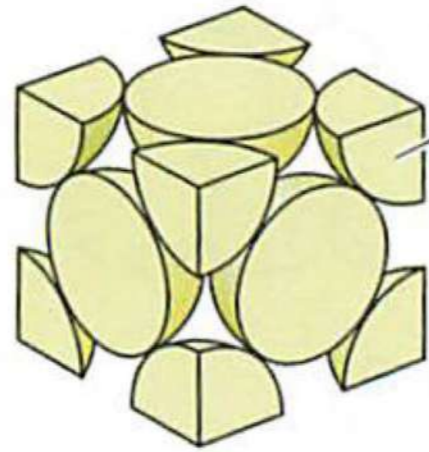


合計で  $\left(\frac{1}{8} \times 8 + 1 =\right)$  **2 個分の原子**

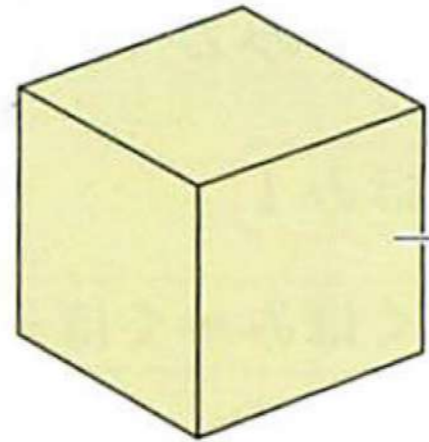
単位格子の一辺の長さ $a$ と原子半径 $r$ との関係は、面心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{2} a$ 、体心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{3} a$  である。また、単位格子中の粒子の個数は、面心立方格子では  $4$ 、体心立方格子では  $2$  である。これらを踏まえてそれぞれの充てん率を計算すると、面心立方格子では  $74\%$ 、体心立方格子では  $\square$  %となる。なお、面心立方格子は  $\square$  とも呼ばれることから明らかのように、六方最密構造の充てん率もまた  $\square$  %である。

金属結晶についてこれらをまとめると、次表の通りとなる。





単位格子中の  
金属原子の体積は  
 $\frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{2}}{4}l\right)^3 \times 4$



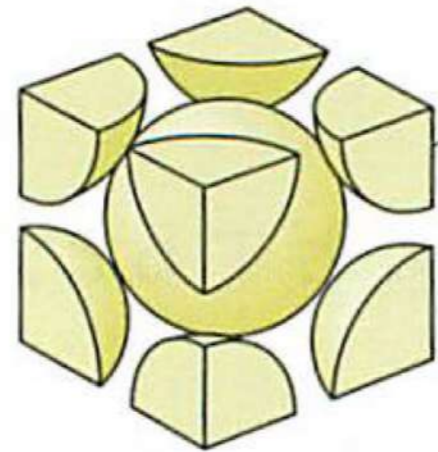
単位格子の体積は  $l^3$

---

$$\times 100 \doteq 74 (\%)$$

単位格子の一辺の長さ $a$ と原子半径 $r$ との関係は、面心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{2} a$ 、体心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{3} a$  である。また、単位格子中の粒子の個数は、面心立方格子では  $4$ 、体心立方格子では  $2$  である。これらを踏まえてそれぞれの充てん率を計算すると、面心立方格子では  $74$  %、体心立方格子では  $68$  %となる。なお、面心立方格子は  とも呼ばれることから明らかのように、六方最密構造の充てん率もまた  %である。

金属結晶についてこれらをまとめると、次表の通りとなる。

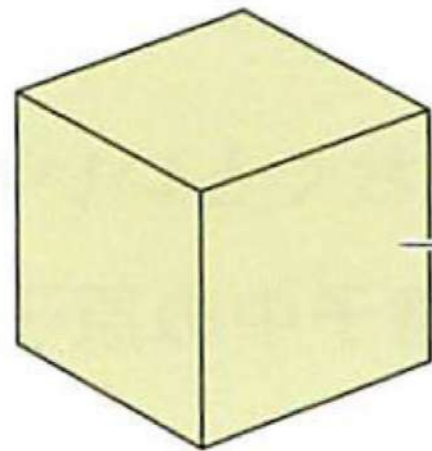


単位格子中の  
金属原子の体積は

$$\frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{3}}{4}l\right)^3 \times 2$$

---

$$\times 100 \doteq 68 (\%)$$



単位格子の体積は  $l^3$

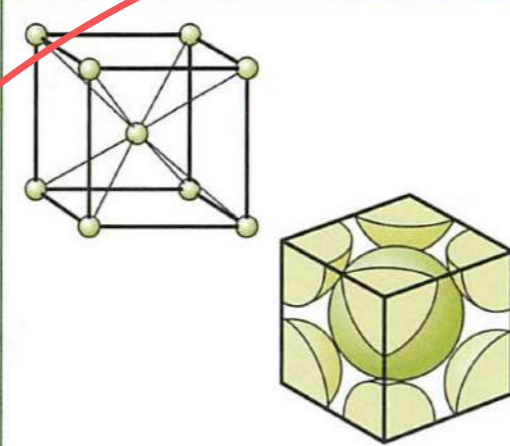
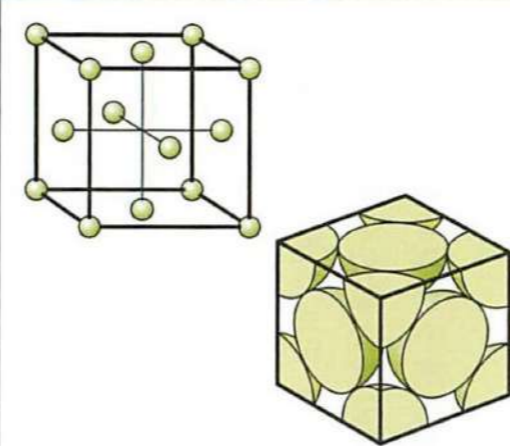
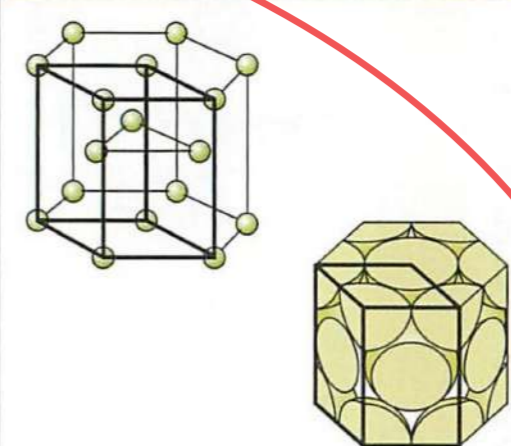
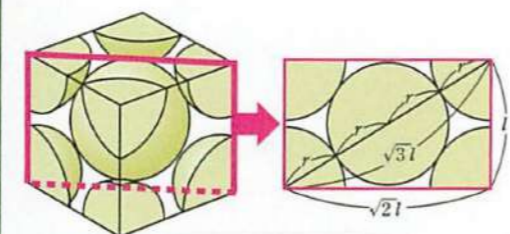
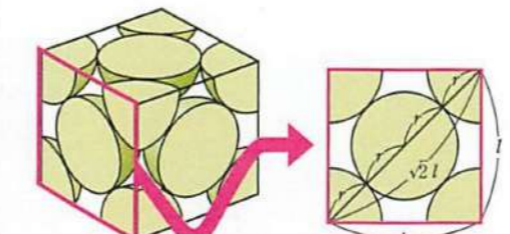
単位格子の一辺の長さ $a$ と原子半径 $r$ との関係は、面心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{2} a$ 、体心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{3} a$  である。また、単位格子中の粒子の個数は、面心立方格子では  $4$ 、体心立方格子では  $2$  である。これらを踏まえてそれぞれの充てん率を計算すると、面心立方格子では  $74\%$ 、体心立方格子では  $68\%$  となる。なお、面心立方格子は **立方最密構造** とも呼ばれることから明らかのように、六方最密構造の充てん率もまた  $74\%$  である。

金属結晶についてこれらをまとめると、次表の通りとなる。

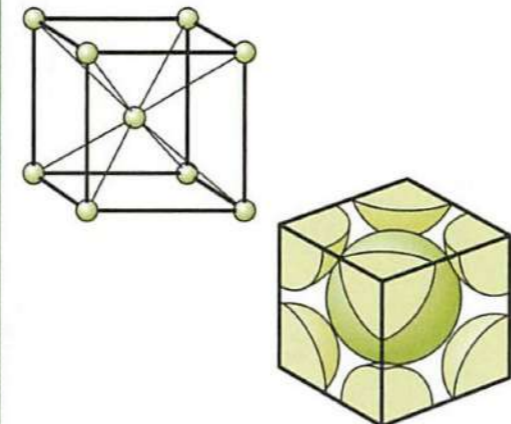
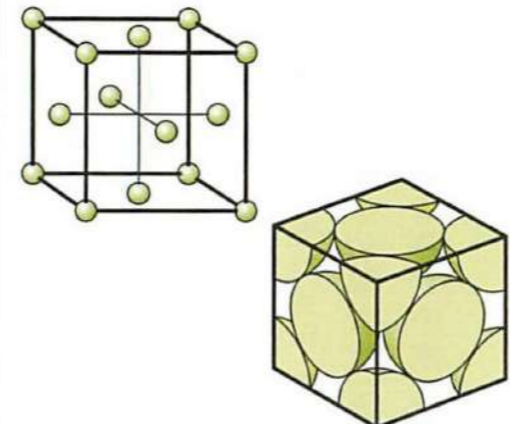
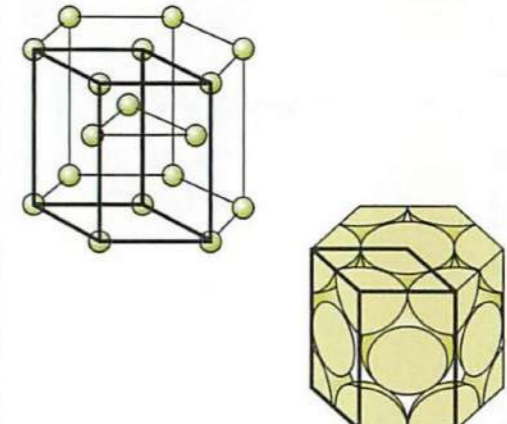
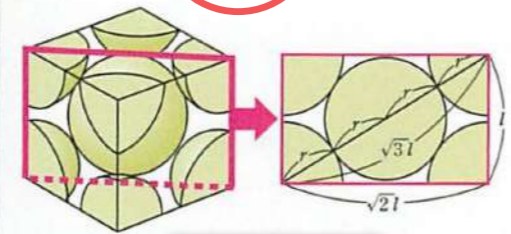
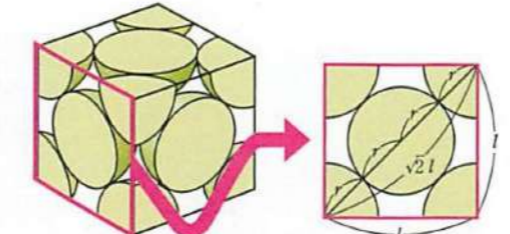
単位格子の一辺の長さ $a$ と原子半径 $r$ との関係は、面心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{2} a$ 、体心立方格子の場合には  $4r = \sqrt{3} a$  である。また、単位格子中の粒子の個数は、面心立方格子では  $4$ 、体心立方格子では  $2$  である。これらを踏まえてそれぞれの充てん率を計算すると、面心立方格子では  $74\%$ 、体心立方格子では  $68\%$  となる。なお、面心立方格子は **立方最密構造** とも呼ばれることから明らかのように、六方最密構造の充てん率もまた  $74\%$  である。

金属結晶についてこれらをまとめると、次表の通りとなる。

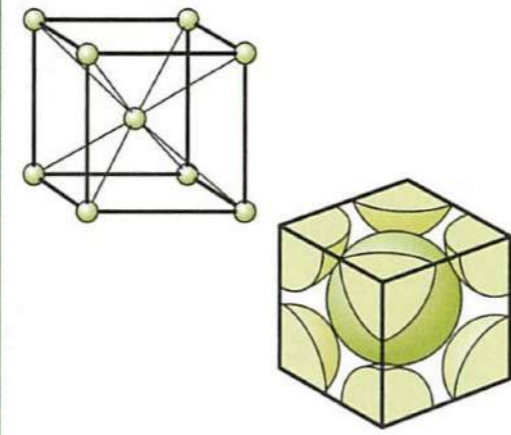
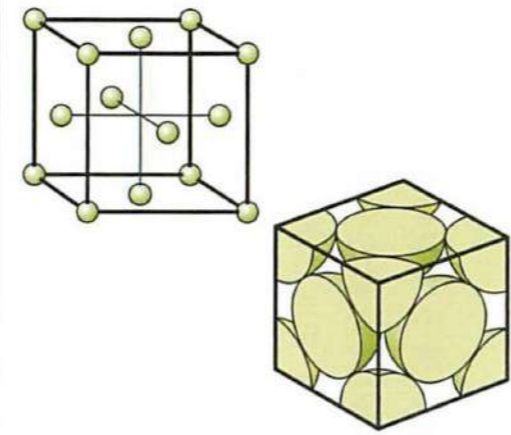
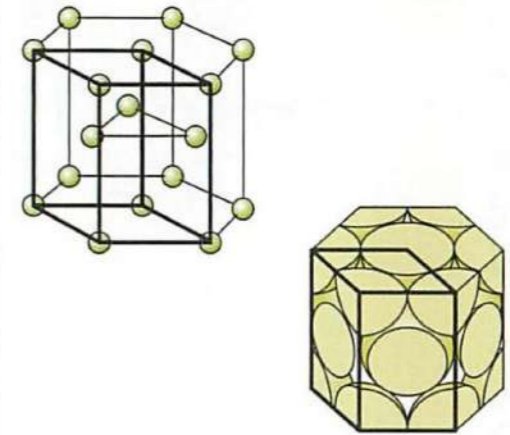
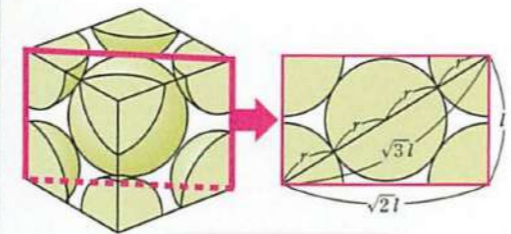
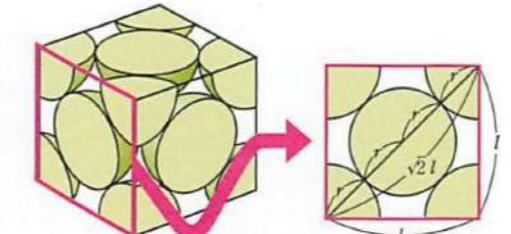
# 金属結晶のまとめ

	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	<input type="text"/> 個分	<input type="text"/> 個分	<input type="text"/> 個分
最近接の原子の数	<input type="text"/> 個	<input type="text"/> 個	<input type="text"/> 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	 <p><input type="text"/></p>	 <p><input type="text"/></p>	
充てん率	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

# 金属結晶のまとめ

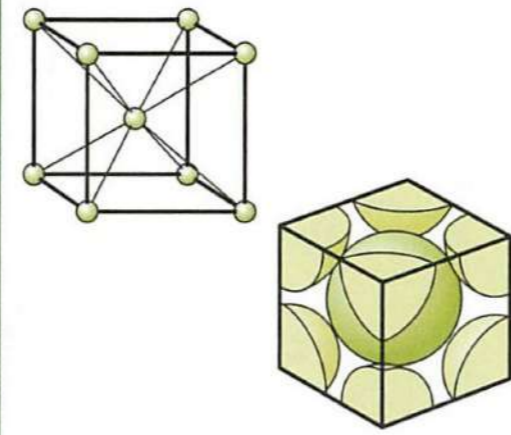
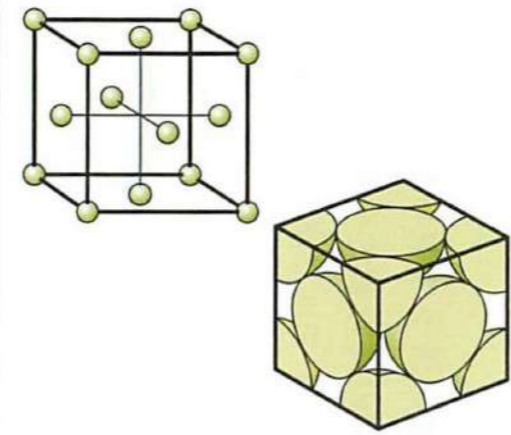
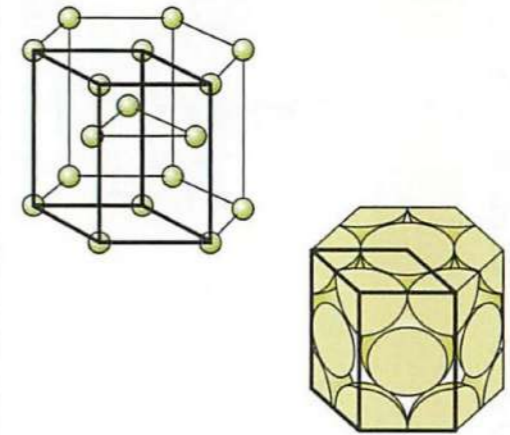
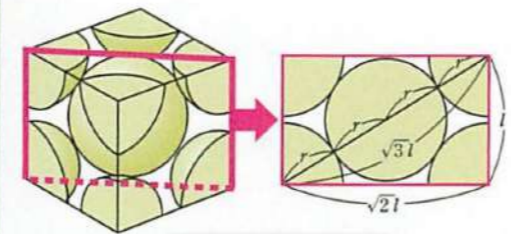
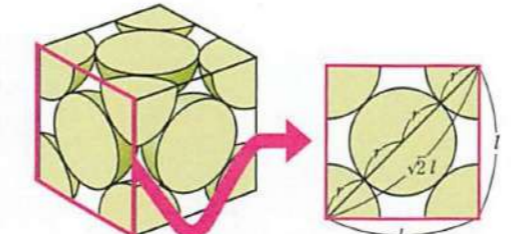

	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	<input type="text"/> 個分	<input type="text"/> 個分	<input type="text"/> 個分
最近接の原子の数	8 個	<input type="text"/> 個	<input type="text"/> 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	 <p><input type="text"/></p>	 <p><input type="text"/></p>	
充てん率	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

# 金属結晶のまとめ

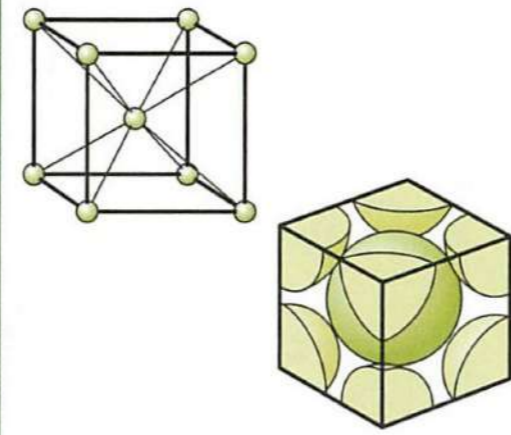
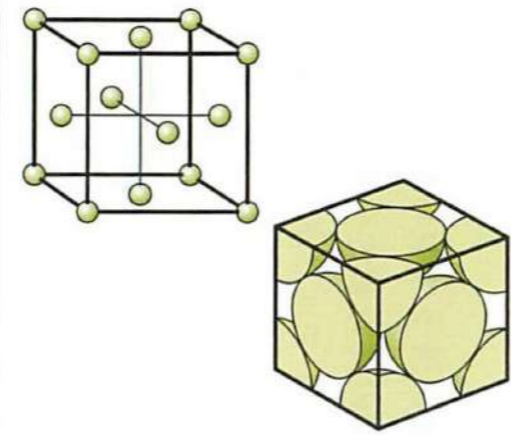
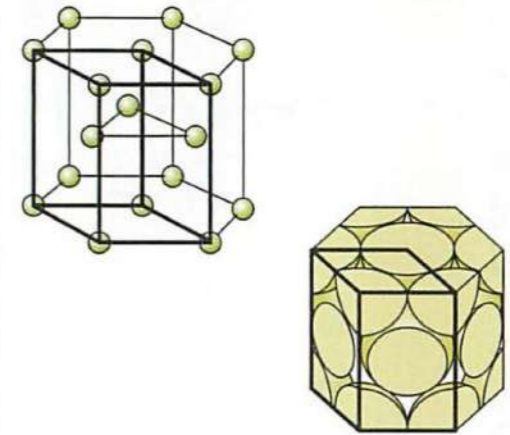
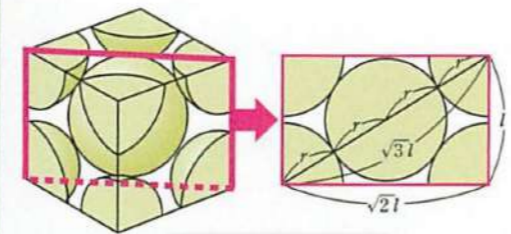
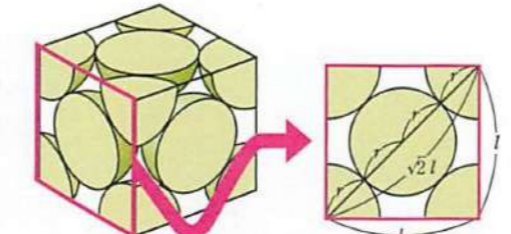
	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	<input type="text"/> 個分	<input type="text"/> 個分	<input type="text"/> 個分
最近接の原子の数	8 個	12 個	<input type="text"/> 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	 <p><input type="text"/></p>	 <p><input type="text"/></p>	
充てん率	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>



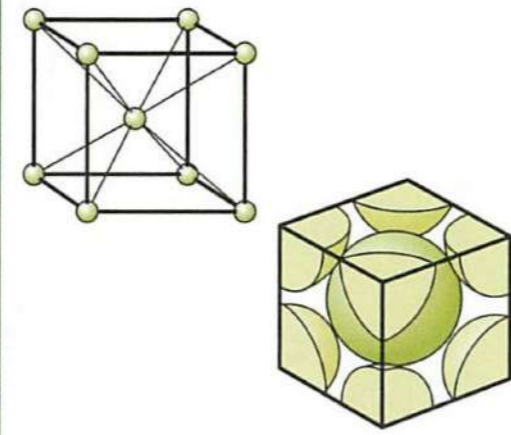
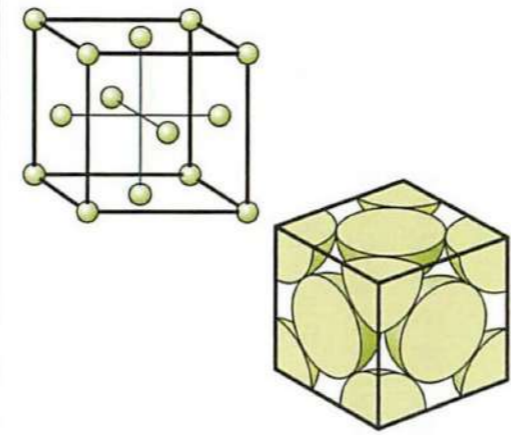
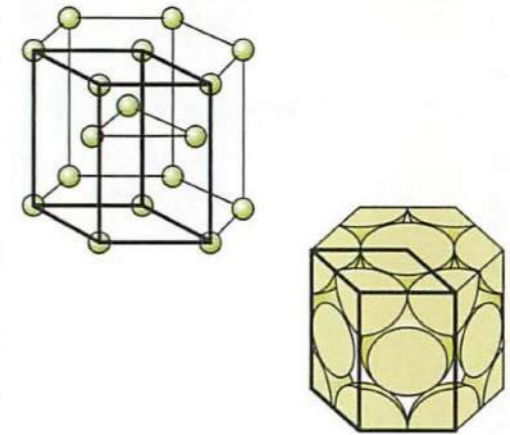
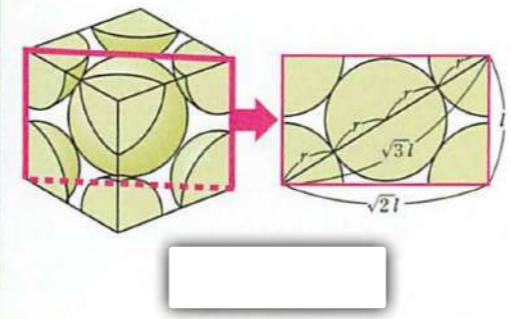
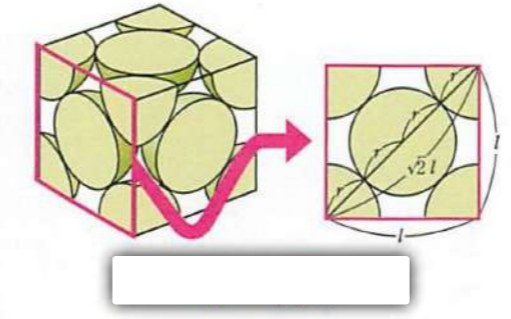
# 金属結晶のまとめ

	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	<input type="text"/> 個分	<input type="text"/> 個分	<input type="text"/> 個分
最近接の原子の数	8 個	12 個	12 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	 <p><input type="text"/></p>	 <p><input type="text"/></p>	 <p><input type="text"/></p>
充てん率	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

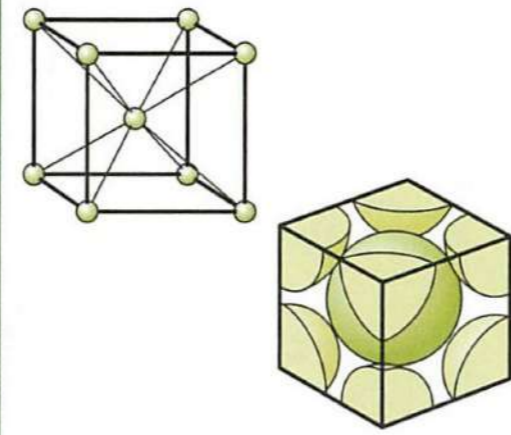
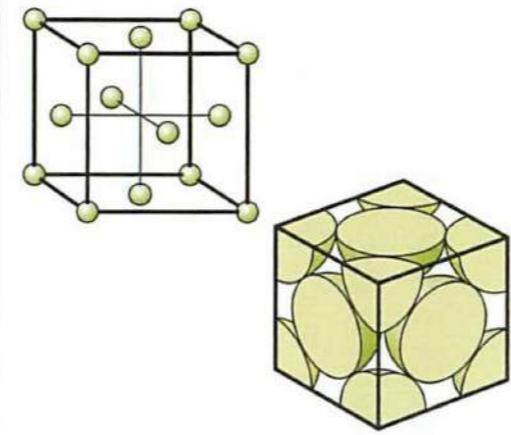
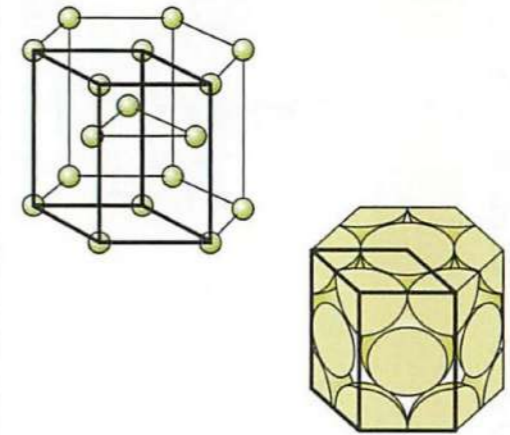
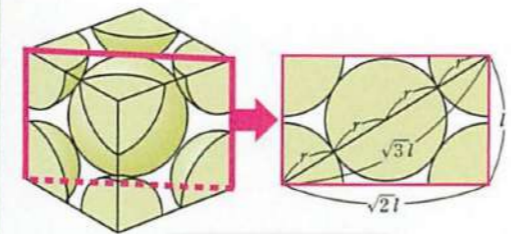
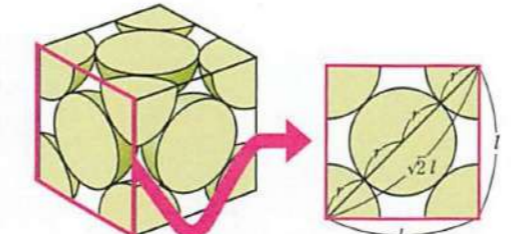
# 金属結晶のまとめ

	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	$\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 個分	<input type="text"/> 個分	<input type="text"/> 個分
最近接の原子の数	8 個	12 個	12 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	 <p><input type="text"/></p>	 <p><input type="text"/></p>	
充てん率	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

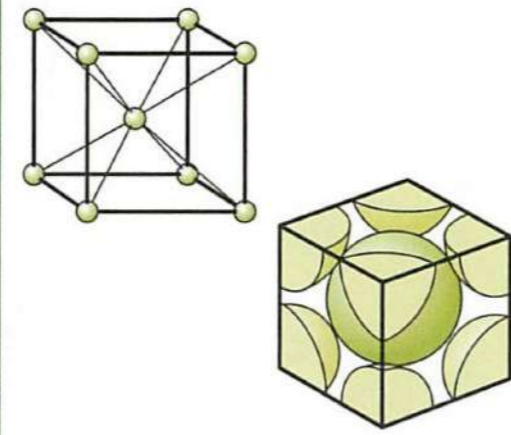
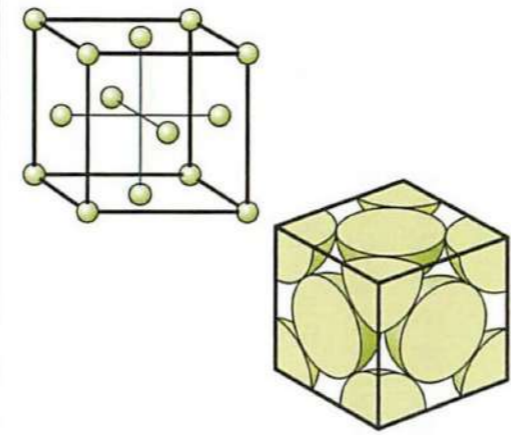
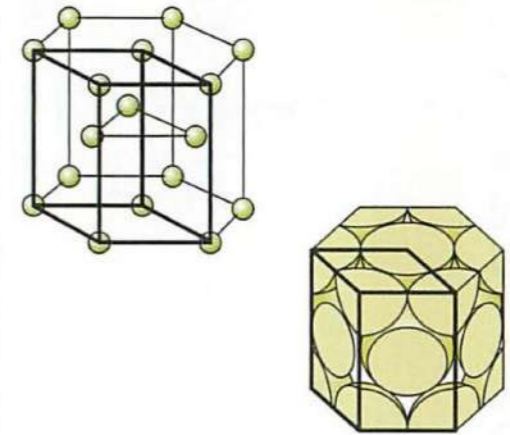
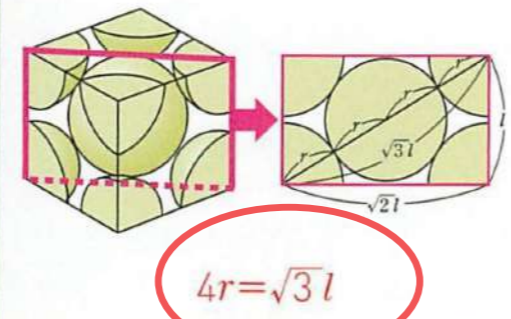
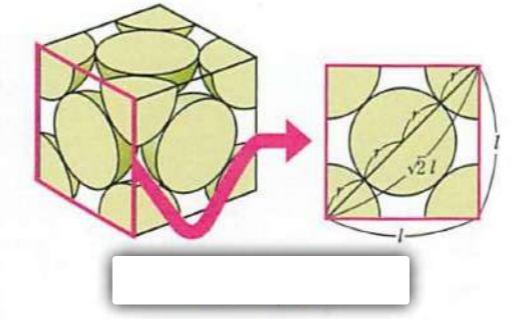
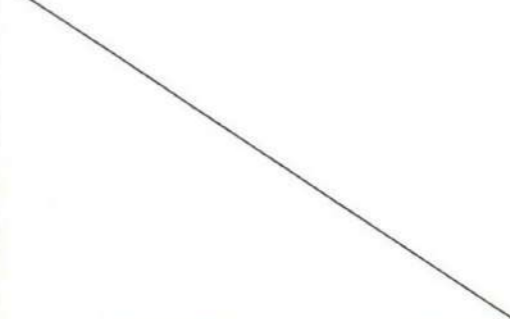
# 金属結晶のまとめ

	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	$\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 個分	$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 個分	<input type="text"/> 個分
最近接の原子の数	8 個	12 個	12 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	 <p><input type="text"/></p>	 <p><input type="text"/></p>	<input type="text"/>
充てん率	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

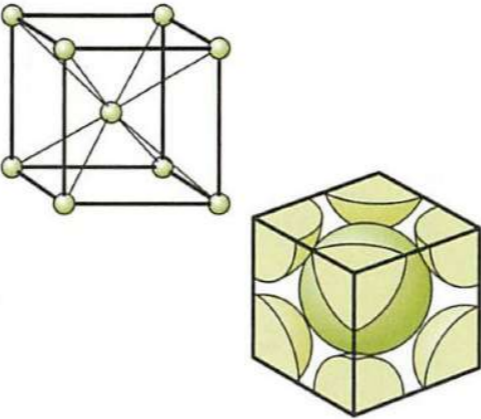
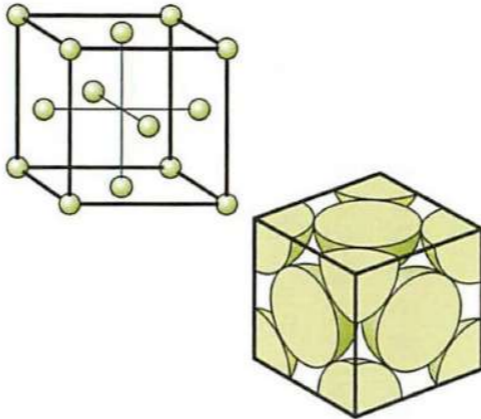
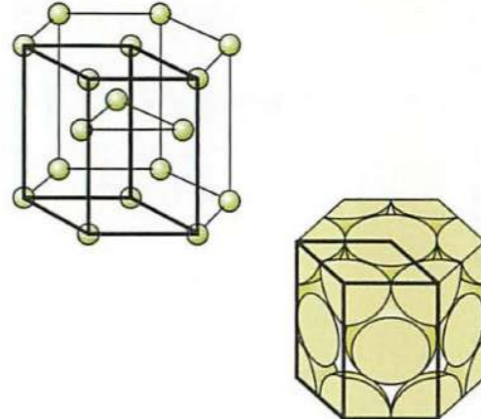
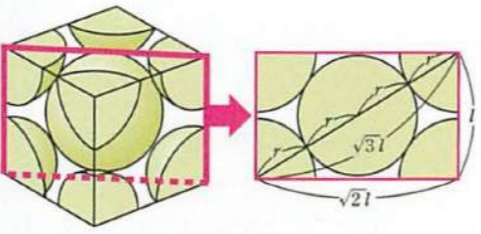
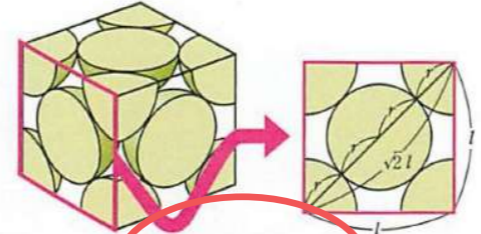
# 金属結晶のまとめ

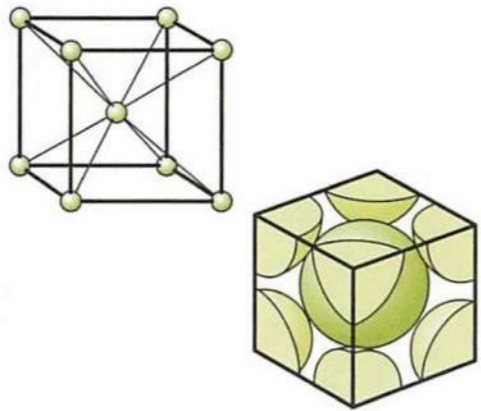
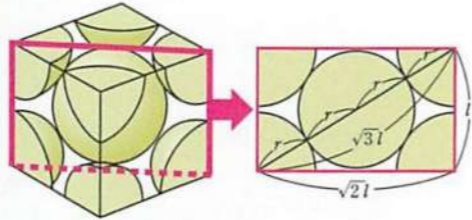
	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	$\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 個分	$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 個分	$\left(\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3\right) \times \frac{1}{3} = 2$ 個分
最近接の原子の数	8 個	12 個	12 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	 <p><input type="text"/></p>	 <p><input type="text"/></p>	
充てん率	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

# 金属結晶のまとめ

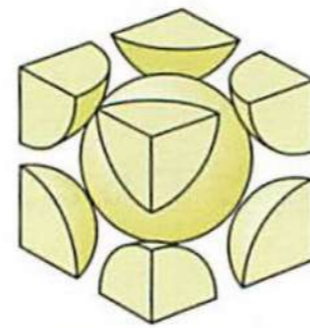
	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	$\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 個分	$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 個分	$\left(\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3\right) \times \frac{1}{3} = 2$ 個分
最近接の原子の数	8 個	12 個	12 個
原子半径 $r$ と単位格子の一边の長さ $l$ との関係	 <p><math>4r = \sqrt{3}l</math></p>	 <p><input type="text"/></p>	 <p><input type="text"/></p>
充てん率	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

# 金属結晶のまとめ

	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	$\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 個分	$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 個分	$(\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3) \times \frac{1}{3} = 2$ 個分
最近接の原子の数	8 個	12 個	12 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	 <p><math>4r = \sqrt{3}l</math></p>	 <p><math>4r = \sqrt{2}l</math></p>	
充てん率	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

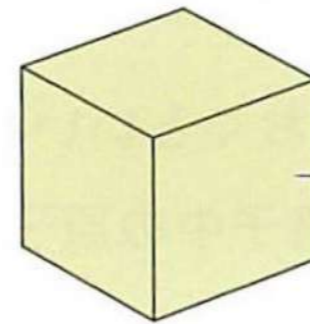
体心立方格子	
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	$\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 個分
最近接の原子の数	8 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	 <p><math>4r = \sqrt{3}l</math></p>
充てん率	68%

### 体心立方格子の場合



単位格子中の金属原子の体積は  
 $\frac{4}{3} \pi \left( \frac{\sqrt{3}}{4} l \right)^3 \times 2$

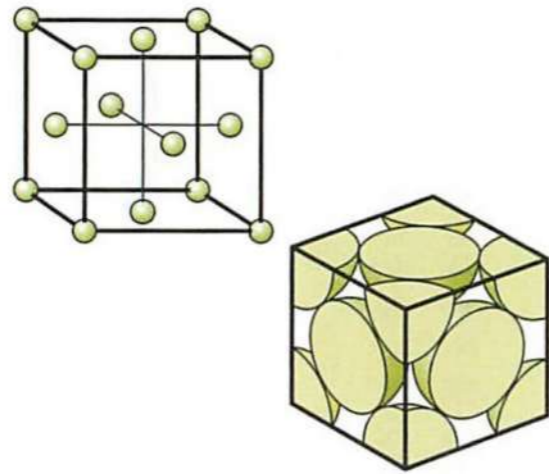
$$\times 100 \div 68 (\%)$$



単位格子の体積は  $l^3$

$\pi = 3.14, \sqrt{3} = 1.73$  を用いて計算すると、  
 67.9% となります。

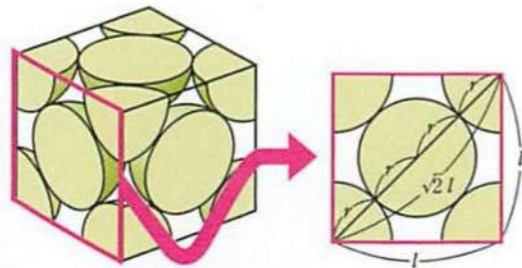
面心立方格子 (立方最密構造)



●は原子の中心を表す。

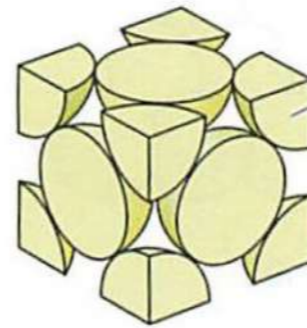
$$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4 \text{ 個分}$$

12 個



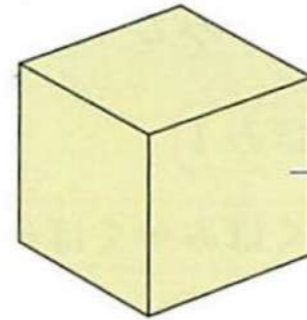
$$4r = \sqrt{2}l$$

74%



単位格子中の  
金属原子の体積は  
 $\frac{4}{3}\pi\left(\frac{\sqrt{2}}{4}l\right)^3 \times 4$

$$\times 100 \doteq 74 (\%)$$

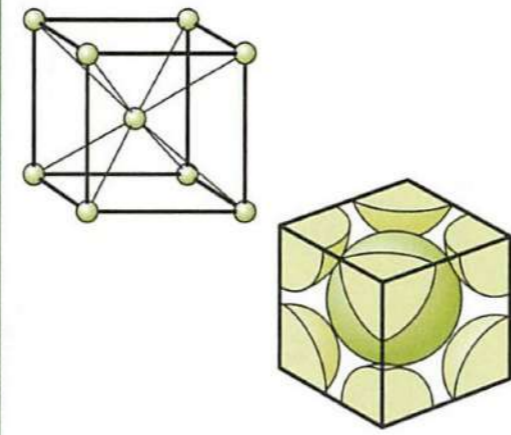
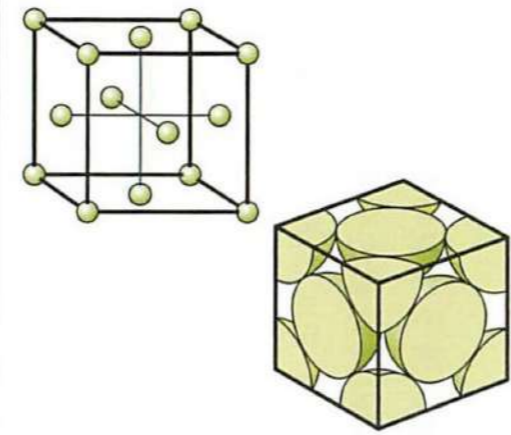
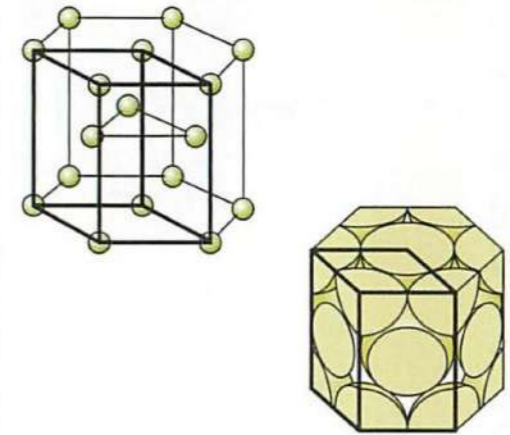
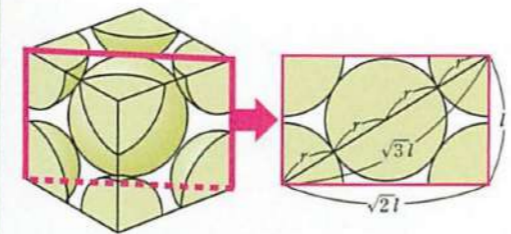
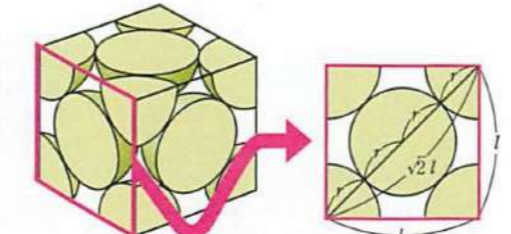


単位格子の体積は  $l^3$

$\pi = 3.14, \sqrt{2} = 1.41$  を用いて計算すると,  
73.8% となります。



# 金属結晶のまとめ

	体心立方格子	面心立方格子 (立方最密構造)	六方最密構造
単位格子中の原子の配置と剛体球モデル	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>	 <p>●は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	$\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ 個分	$\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ 個分	$\left(\frac{1}{6} \times 12 + \frac{1}{2} \times 2 + 3\right) \times \frac{1}{3} = 2$ 個分
最近接の原子の数	8 個	12 個	12 個
原子半径 $r$ と単位格子の一边の長さ $l$ との関係	 <p><math>4r = \sqrt{3}l</math></p>	 <p><math>4r = \sqrt{2}l</math></p>	
充てん率	68%	74%	74%

この段階で、演習問題の  
第①課題 **結晶** 例題1～3  
にチャレンジ出来ます。

# 金属結晶

## 「金属結晶」で用いる知識

	体心立方格子	面心立方格子(立方最密構造)
単位格子中の原子の配置(左上)と剛体球モデル(右下)	<p>◎は原子の中心を表す。</p>	<p>◎は原子の中心を表す。</p>
単位格子中の原子の個数	知識① $\frac{1}{8} \times 8 + 1 = 2$ (個)	知識⑤ $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$ (個)
最近接の原子の数(配位数)	知識② 8 個	知識⑥ 12 個
原子半径 $r$ と単位格子の一辺の長さ $l$ との関係	<p>知識③ <math>4r = \sqrt{3}l</math></p>	<p>知識⑦ <math>4r = \sqrt{2}l</math></p>
充填率	知識④ 68 %	知識⑧ 74 %

知識⑧の補足 六方最密構造の充填率は、類似の最密構造である面心立方格子(立方最密構造)の充填率と等しく、74%である。

単位格子の一辺の長さを  $l$ (cm)、原子量を  $M$ ( $\Rightarrow$ モル質量を  $M$ (g/mol))、単位格子中に含まれる原子の個数を  $n$ 、アボガドロ定数を  $N$ (/mol) としたときの金属の結晶の密度  $d$ (g/cm<sup>3</sup>)

知識⑨ 
$$d = \frac{M}{N} \times \frac{n}{l^3} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

**例題 1** 体心立方格子(原子間距離と単位格子の大きさ)

アルカリ金属 A は体心立方格子をとる。アルカリ金属 A の体心立方格子の中心から一つの頂点までの距離は  $4.50 \times 10^{-8}$  cm であった。この体心立方格子の一辺の長さはいくらになるか。ただし、 $\sqrt{3} = 1.73$  とし、有効数字 2 桁で答えよ。

関西学院大

### 例題 2 体心立方格子(密度)

金属ナトリウムは、体心立方型の結晶格子をもつ。したがって一つの体心立方格子中に含まれるナトリウム原子の数  $A$  は明らかである。体心立方格子の一辺の長さを  $B(\text{cm})$  とすると、アボガドロ定数  $N(/\text{mol})$  の値はこれらの結晶格子に関する測定値をもとにして求めることができる。そのためには、 $A$ 、 $B$  と原子量  $M$  の3つの物理量以外に、もう一つ別の物理量  $x$  を知る必要がある。これにより  $N$  を  $A$ 、 $B$ 、 $M$  および  $x$  の関数として表すことができる。

問 1 物理量  $x$  の名称と単位(問 2 で用いる場合の)を書け。

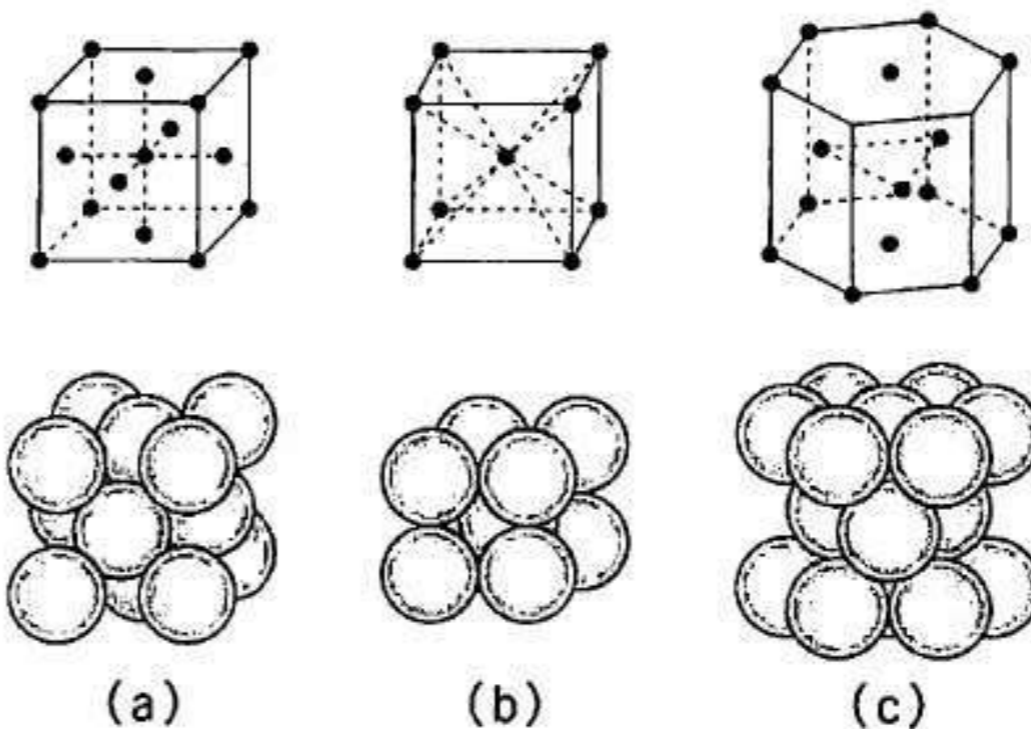
問 2  $N$  を  $B$ 、 $M$  および  $x$  の関数として示せ。

都立大

**例題3** 面心立方格子(密度), 金属結晶の<sup>じゅうてん</sup>充填率

銅, 鉄, 亜鉛の3種の金属の単体の構造について以下の問いに答えよ。  
 図は, それぞれ, (a)銅, (b)鉄, (c)亜鉛の常温・常圧での結晶構造(結晶格子)を示したものである。

問1 銅の密度を求めよ。ただし, 単体格子の一辺の長さは  $3.62 \times 10^{-8} \text{ cm}$ , 銅の原子量は 63.5, アボガドロ定数は  $6.02 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$



とする。答の数値は有効数字2桁とせよ。

問2 鉄と亜鉛について, 原子が空間に対して占める割合(充填率)を求めよ。充填率の答は百分率(%)で, 小数点以下を四捨五入せよ。必要に応じて,  $\sqrt{2} = 1.41$ ,  $\sqrt{3} = 1.73$ ,  $\pi = 3.14$  の数値も用いよ。

# より深く イオン結晶

## テーマ1 結晶 イオン結晶についての ①、⑤～⑦

イオン結晶の安定性 → 引力 > 斥力か? → 結晶構造

イオン半径比  $r_+/r_-$  → NaCl型? CsCl型?

配位数 → NaCl型の配位数の密度 > CsCl型の密度

結晶の配列 → 単位格子中のイオンの数

⑤ NaCl型の限界半径比?

⑥ CsCl型の限界半径比?

⑦ イオン結晶と成立範囲

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	閃亜鉛型 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!

**① ⑤ ⑥ ⑦**

① ⑤ ⑥ ⑦

① ⑤ ⑥ ⑦

① ⑤ ⑥ ⑦

▶ 拡大

### ① ⑤ ⑥ ⑦

① ⑤ ⑥ ⑦

① ⑤ ⑥ ⑦

① ⑤ ⑥ ⑦

① ⑤ ⑥ ⑦

▶ 詳細

### ⑤ NaCl型の限界半径比?

⑤ NaCl型の限界半径比?

⑤ NaCl型の限界半径比?

⑤ NaCl型の限界半径比?

⑤ NaCl型の限界半径比?

▶ 詳細

### ⑥ CsCl型の限界半径比?

⑥ CsCl型の限界半径比?

⑥ CsCl型の限界半径比?

⑥ CsCl型の限界半径比?

⑥ CsCl型の限界半径比?

▶ 詳細

### ⑦ イオン結晶と成立範囲

⑦ イオン結晶と成立範囲

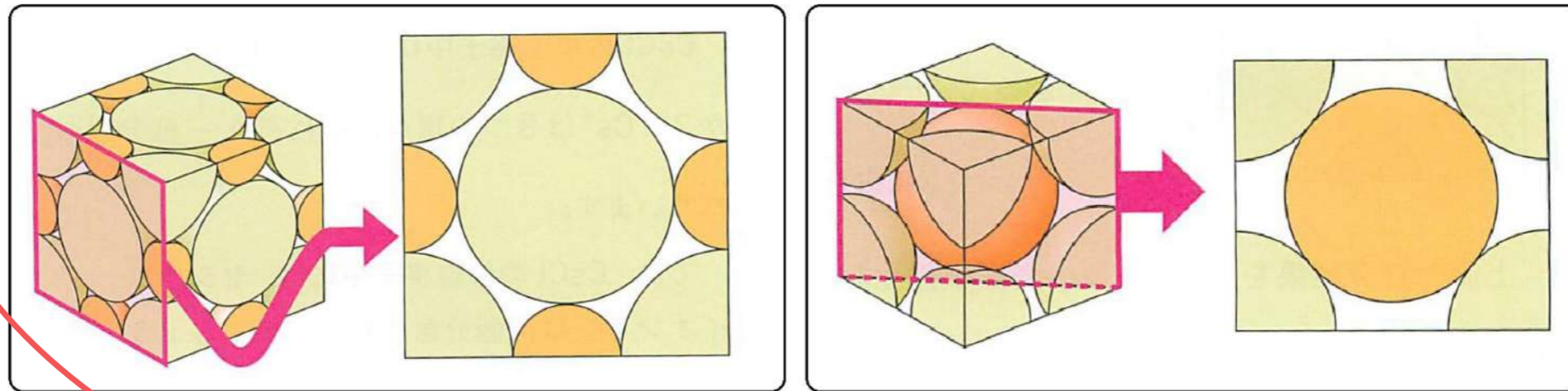
⑦ イオン結晶と成立範囲

⑦ イオン結晶と成立範囲

⑦ イオン結晶と成立範囲

## イオン結晶

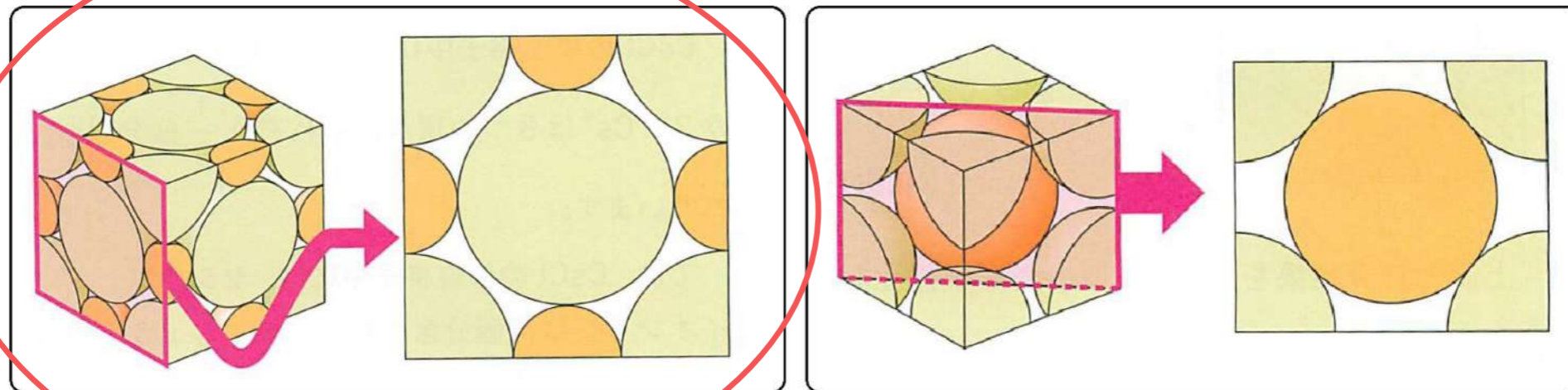
次図は  型結晶(左図)と  型結晶(右図)を表している。  
矢印の前は単位格子の様子、矢印の後は適当な断面における陽イオンと陰イオンの接触の様子を示している。





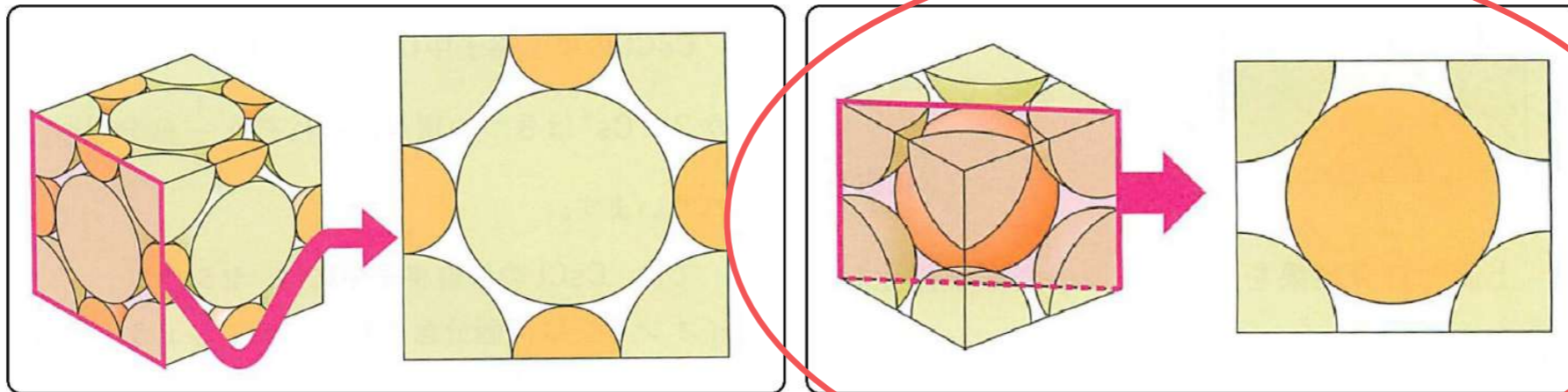
## イオン結晶

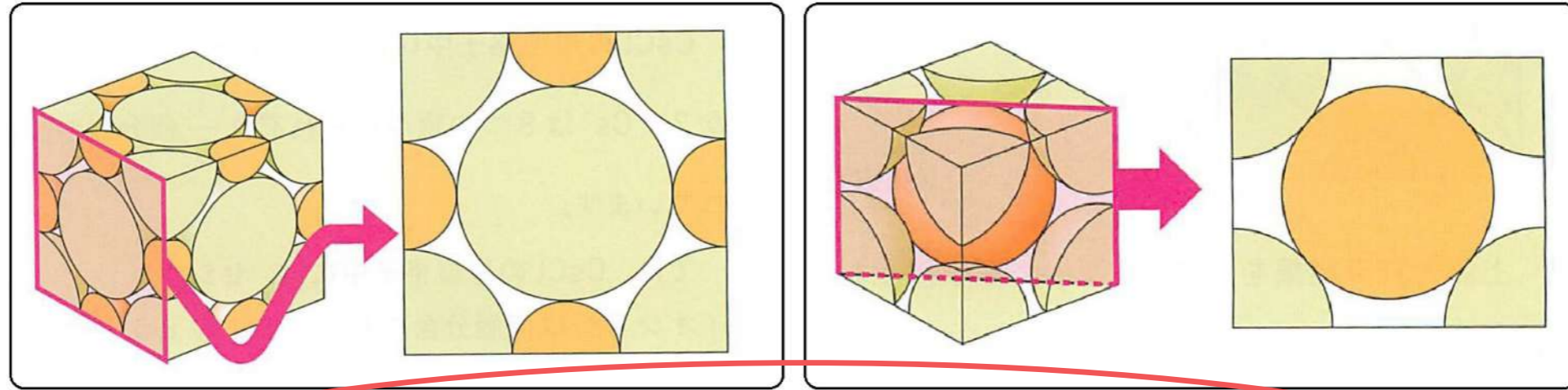
次図は **NaCl** 型結晶(左図)と  型結晶(右図)を表している。  
矢印の前は単位格子の様子、矢印の後は適当な断面における陽イオンと陰イオンの接触の様子を示している。



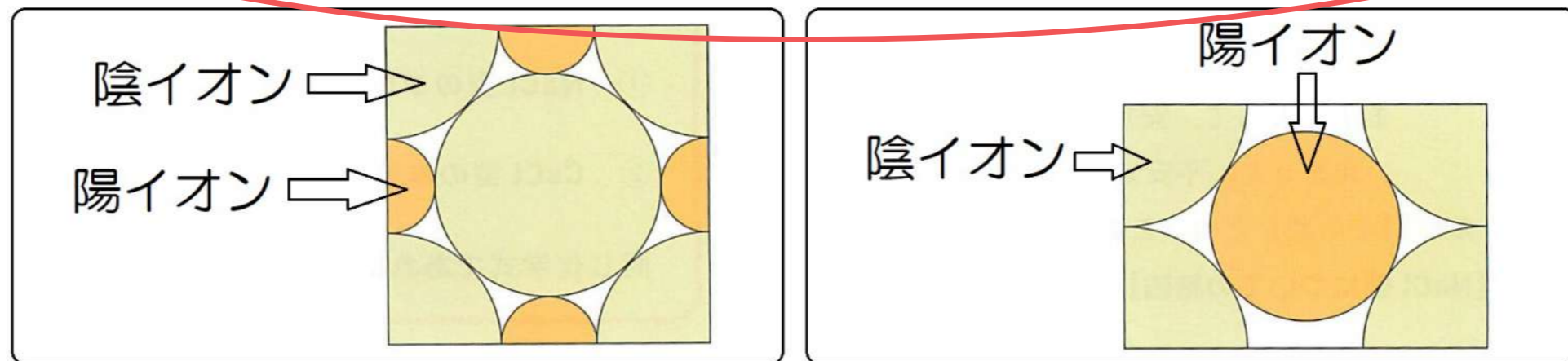
## イオン結晶

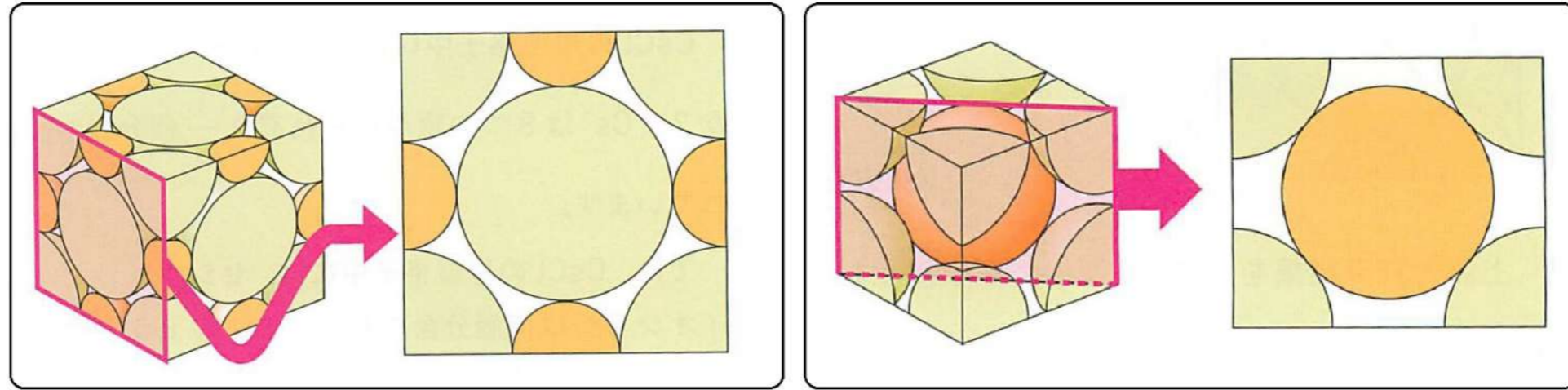
次図は **NaCl** 型結晶(左図)と **CsCl** 型結晶(右図)を表している。  
矢印の前は単位格子の様子、矢印の後は適当な断面における陽イオンと陰イオンの接触の様子を示している。



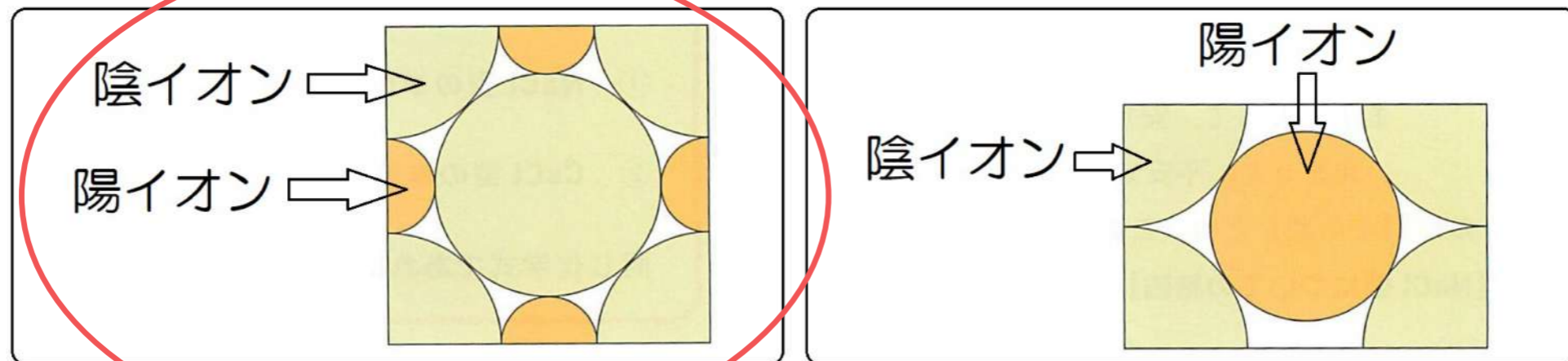


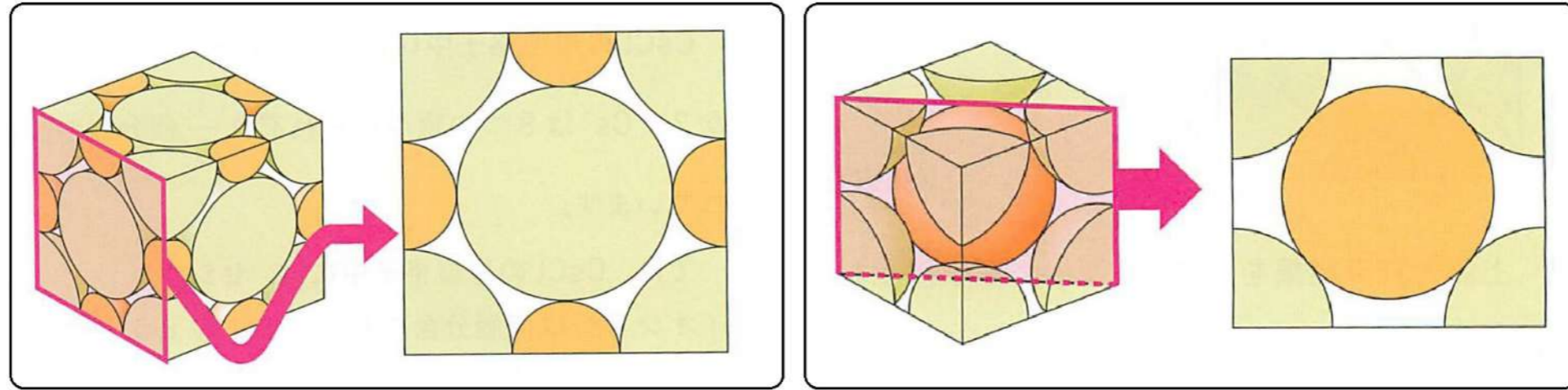
イオン結晶の安定性が「陽イオンと陰イオンが接し」かつ「陽イオンどうし、陰イオンどうしが互いに離れている」ことによるものとするれば、次図に示された断面の様子は一つの限界の状態にある。



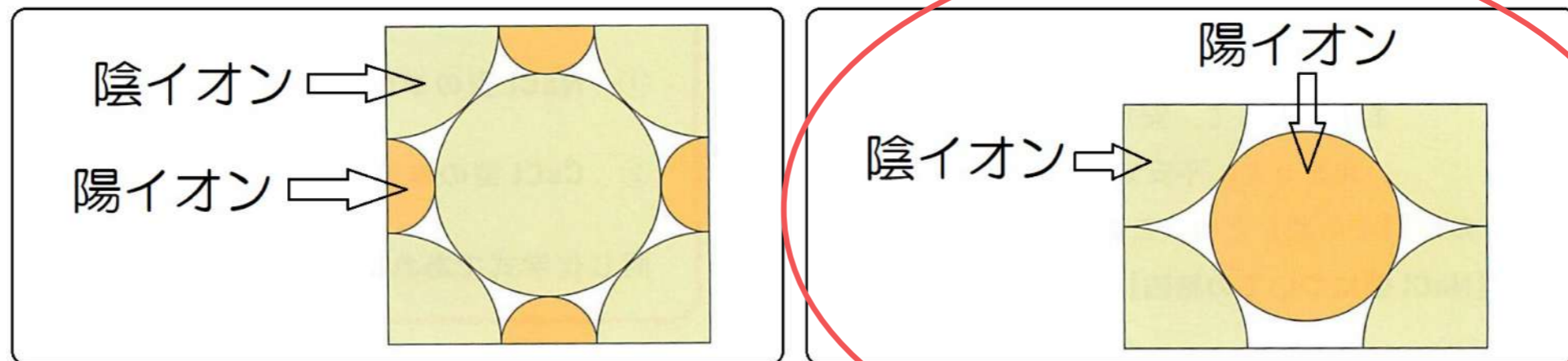


イオン結晶の安定性が「陽イオンと陰イオンが接し」かつ「陽イオンどうし、陰イオンどうしが互いに離れている」ことによるものとするれば、次図に示された断面の様子は一つの限界の状態にある。



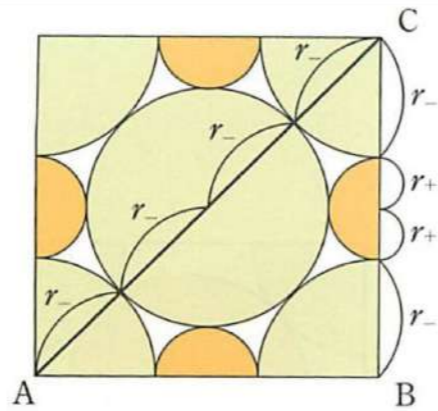


イオン結晶の安定性が「陽イオンと陰イオンが接し」かつ「陽イオンどうし、陰イオンどうしが互いに離れている」ことによるものとするれば、次図に示された断面の様子は一つの限界の状態にある。



このような状態のときの  $\frac{\text{陽イオンの半径}}{\text{陰イオンの半径}}$  を限界半径比と呼ぶ

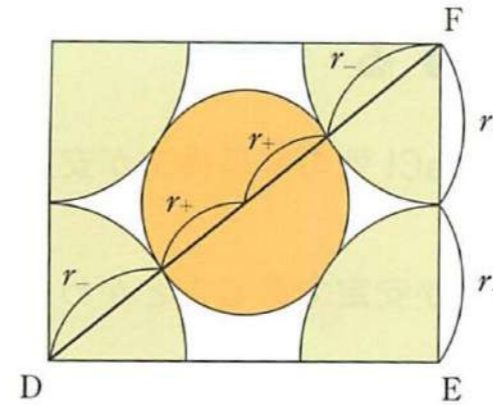
ことにすると、NaCl型の限界半径比は  であり、CsCl型の限界半径比は  である。



$$\frac{BC}{AC} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{また,} \quad \frac{BC}{AC} = \frac{2r_+ + 2r_-}{4r_-}$$

$$\text{よって,} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2r_+ + 2r_-}{4r_-} \rightarrow \frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1$$

両辺を2倍し、有理化後、整理する。



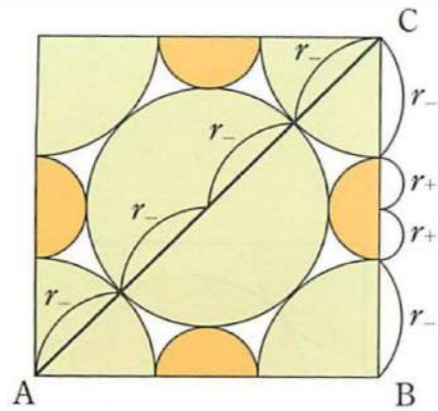
$$\frac{DF}{EF} = \frac{\sqrt{3}}{1} \quad \text{また,} \quad \frac{DF}{EF} = \frac{2r_+ + 2r_-}{2r_-}$$

$$\text{よって,} \quad \frac{\sqrt{3}}{1} = \frac{2r_+ + 2r_-}{2r_-} \rightarrow \frac{r_+}{r_-} = \sqrt{3} - 1$$

このような状態のときの  $\frac{\text{陽イオンの半径}}{\text{陰イオンの半径}}$  を限界半径比と呼ぶ

ことにすると、NaCl型の限界半径比は  $\sqrt{2}-1$  であり、CsCl型

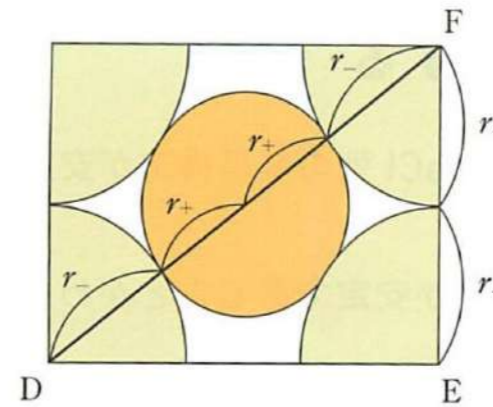
の限界半径比は  である。



$$\frac{BC}{AC} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{また,} \quad \frac{BC}{AC} = \frac{2r_+ + 2r_-}{4r_-}$$

$$\text{よって,} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2r_+ + 2r_-}{4r_-} \rightarrow \frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1$$

両辺を2倍し、有理化後、整理する。

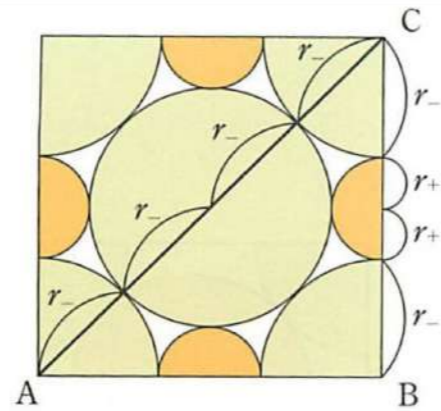


$$\frac{DF}{EF} = \frac{\sqrt{3}}{1} \quad \text{また,} \quad \frac{DF}{EF} = \frac{2r_+ + 2r_-}{2r_-}$$

$$\text{よって,} \quad \frac{\sqrt{3}}{1} = \frac{2r_+ + 2r_-}{2r_-} \rightarrow \frac{r_+}{r_-} = \sqrt{3} - 1$$

このような状態のときの  $\frac{\text{陽イオンの半径}}{\text{陰イオンの半径}}$  を限界半径比と呼ぶ

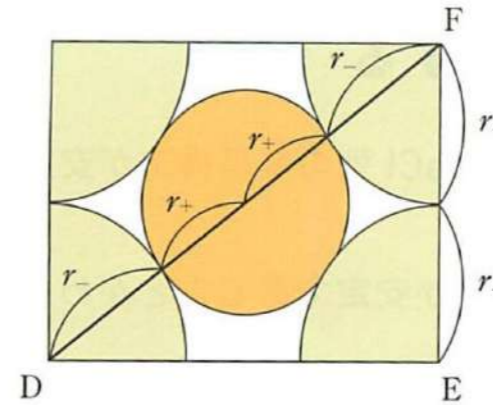
ことにすると、NaCl型の限界半径比は  $\sqrt{2}-1$  であり、CsCl型の限界半径比は  $\sqrt{3}-1$  である。



$$\frac{BC}{AC} = \frac{1}{\sqrt{2}} \quad \text{また,} \quad \frac{BC}{AC} = \frac{2r_+ + 2r_-}{4r_-}$$

$$\text{よって,} \quad \frac{1}{\sqrt{2}} = \frac{2r_+ + 2r_-}{4r_-} \rightarrow \frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1$$

両辺を2倍し、有理化後、整理する。



$$\frac{DF}{EF} = \frac{\sqrt{3}}{1} \quad \text{また,} \quad \frac{DF}{EF} = \frac{2r_+ + 2r_-}{2r_-}$$

$$\text{よって,} \quad \frac{\sqrt{3}}{1} = \frac{2r_+ + 2r_-}{2r_-} \rightarrow \frac{r_+}{r_-} = \sqrt{3} - 1$$



この段階で、演習問題の  
第①課題 **結晶** 例題4～6  
にチャレンジ出来ます。

# イオン結晶

## 「イオン結晶」で用いる知識

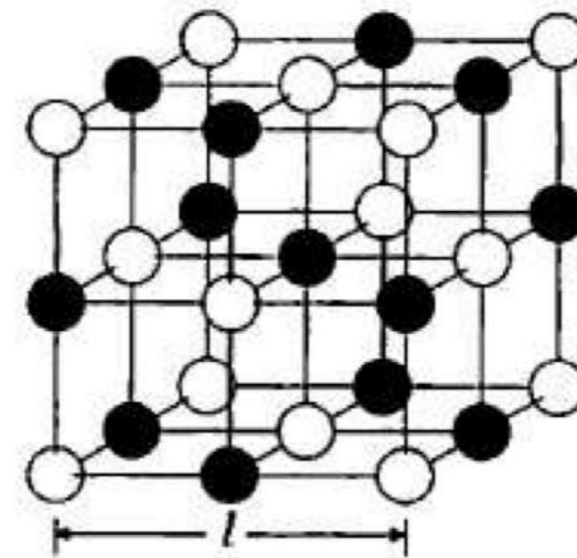
	塩化ナトリウム型 (NaCl型)	塩化セシウム型 (CsCl型)
単位格子中のイオンの配置(左上)と剛体球モデル(右下)	<p>●は陽イオンの中心を表す。 ○は陰イオンの中心を表す。</p>	<p>●は陽イオンの中心を表す。 ○は陰イオンの中心を表す。</p>
単位格子中のイオン間の距離	<p>知識⑩ 単位格子の一辺の長さを <math>l</math> とすると、 下左図のように、ある1個のイオンは 距離 <math>\frac{1}{2}l</math> にある6個の異符号のイオン に囲まれている。</p> <p>単位格子の一辺の長さを <math>l</math> とすると、 上右図のように、ある1個のイオンは 距離 <math>\frac{\sqrt{2}}{2}l</math> にある12個の同符号のイオン に囲まれている。</p>	<p>知識⑬ 単位格子の一辺の長さを <math>l</math> とすると、 ある1個のイオンは距離 <math>\frac{\sqrt{3}}{2}l</math> にある 8個の異符号のイオンに囲まれている。</p>
単位格子中のイオンのペア数	<p>知識⑪ 陽イオン：4個 陰イオン：4個 } 4ペア</p>	<p>知識⑭ 陽イオン：1個 陰イオン：1個 } 1ペア</p>
限界半径比	<p>知識⑫</p> $\frac{r_+}{r_-} = \sqrt{2} - 1 (r_+ < r_- \text{ のとき})$	<p>知識⑮</p> $\frac{r_+}{r_-} = \sqrt{3} - 1 (r_+ < r_- \text{ のとき})$

⑮ 限界半径比とは、ここでは、陰イオンと陽イオンが互いに接し、かつ、陰イオンどうしも互いに接した場合の陰イオン半径  $r_-$  に対する陽イオン半径  $r_+$  の比をさす。イオン結晶の成立条件に関わってくる値である。

**例題 4** NaCl 型 (イオン間距離)

NaCl 型と呼ばれる結晶構造の基本単位 (単位格子) を右図に示す。この基本単位は一辺が  $l$  の立方体である。黒丸を A 原子, 白丸を X 原子とし, A 原子または X 原子の配列だけを取り出してみると, 各原子はそれぞれ面心立方格子を構成している。

問 原子 A と原子 X の間の最短距離  $d_1$  と原子 A と原子 X の間で第二番目に近い距離  $d_2$  を  $l$  を用いて表せ。



NaCl 型結晶構造  
の単位格子

東北大 / 改

**例題 5** NaCl 型(密度)

塩化ナトリウムはイオン結晶であり、その単位格子の一辺の長さは 0.552 nm である。これについて、以下の問いに答えよ。必要があれば次の数値を用いよ。

Na=23.0, Cl=35.5, アボガドロ定数= $6.02 \times 10^{23}$  (/mol),

1 nm= $10^{-9}$  m

**問** 塩化ナトリウムの結晶の密度( $\text{g/cm}^3$ )を求めよ。答は有効数字 2 桁で記せ。なお、 $5.52^3=168.2$  を用いよ。

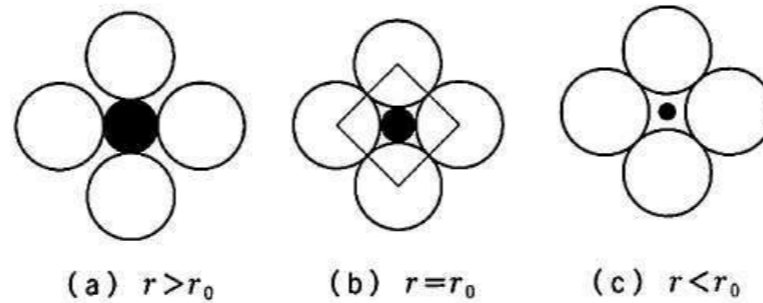
星薬科大

**例題 6 NaCl 型(限界半径比)**

イオン結晶は、陰・陽のイオンが交互に規則正しく配列され、静電的な力で密につまった結晶構造をとる。陰・陽のイオンの価数が等しく、単位格子が正方形である仮想的な二次元イオン結晶を考え、一平面上で4個の陰イオンが1個の陽イオンを正方形の形で取り囲んだ4配位の構造を下図に示す。

下図の白丸は陰イオンを、黒丸は陽イオンをそれぞれ表す。陽イオン半径を  $r_+$ 、陰イオン半径を  $r_-$  とし、イオン半径比  $r$  を  $r = \frac{r_+}{r_-}$  と定義する。

図(b)は、イオンを剛体と考え、陰・陽両イオンも陰イオンどうしも互いに接した構造を示す。この場合の陰イオン半径に対する陽イオン半径の比を  $r_0$  とすると、 $r_0$  の値は正方形の大きさとは無関係に定まる。イオン半径比  $r$  が  $r_0$  より大きい場合は、図(a)に示すように陰・陽両イオンが互いに接し、陰イオンどうしが離れた安定な構造となるが、 $r$  が  $r_0$  より小さい場合は、図(c)に示すように陰・陽両イオンが互いに接することができず、不安定な構造となり、 $r$  が小さくなるにつれて、相対的に不安定性が増す。



問 NaCl 型イオン結晶において、陰・陽両イオンも陰イオンどうしも互いに接した場合におけるイオン半径比  $r_0$  を有効数字 3 桁で求めよ。必要があれば、 $\sqrt{2} = 1.414$ ,  $\sqrt{3} = 1.732$  の値を用いよ。 埼玉大

日々の努力を  
忘れないでね。

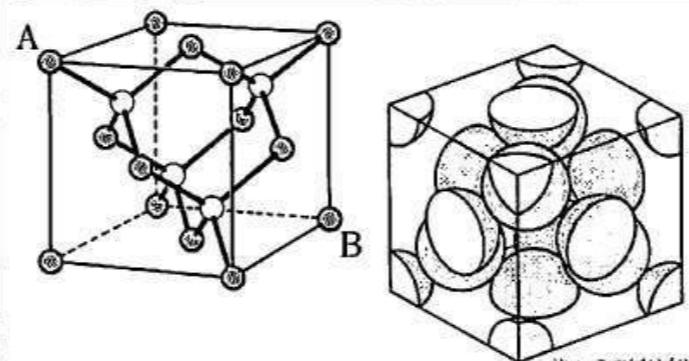
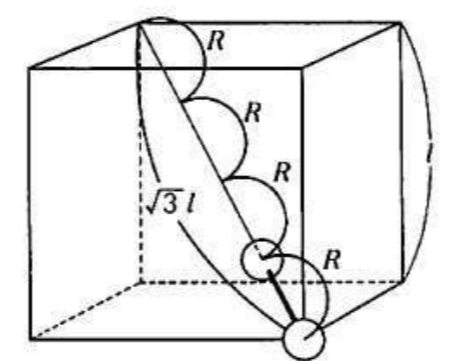
Chemistry



共有結合結晶の出題としては  
『ダイヤモンド』に関する出題が  
多く見受けられるようです。

# 共有結合の結晶

「共有結合の結晶」で用いる知識

ダイヤモンド	
単位格子中の 原子の配置(左) と 剛体球モデル(右)	 <p>◎と○はともに炭素原子の中心部分を表す。</p> <p>注：この図は左図のA点からB点に向かってながめたものである。</p>
単位格子中の 原子の個数	知識⑥ $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 + 1 \times 4 = 8$ (個)
最近接の原子の数 (配位数)	知識⑦ 4 個
原子間距離 (中心間距離) $R$ と 単位格子の 一辺の長さ $l$ との関係	知識⑧ $4R = \sqrt{3}l$ 

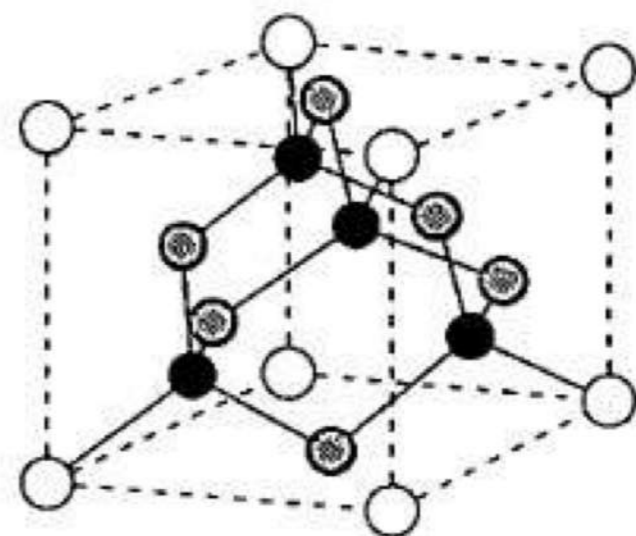


### 例題 7 ダイヤモンド(密度)

ケイ素の結晶もダイヤモンドと同じ構造をもつ。ケイ素の場合、右図の単位格子の体積は  $1.60 \times 10^{-22} \text{ cm}^3$  である。ケイ素の原子量 28.09 を用いて、ケイ素の結晶の密度 ( $\text{g/cm}^3$ ) を求めよ。小数点以下第 3 位を四捨五入して答えよ。

ただし、必要があれば次の数値を用いよ。

アボガドロ定数： $6.02 \times 10^{23} / \text{mol}$



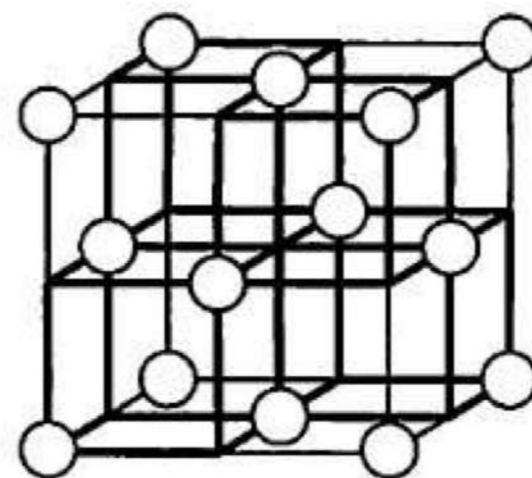
図：ダイヤモンドの単位格子

白色で示した原子は単位格子の頂点に、灰色で示した原子は単位格子の面上に存在する。

北大

**例題 8** ダイヤモンド(原子間距離)

銅の結晶の立方体型単位格子は図のように、8個の等しい小さい立方体の集まりとみなせる。この小立方体の一つおきの中心(太線で示した小立方体の中心)に、1個ずつ計4個の塩化物イオンを配置することにより、新たに塩化銅(I)の結晶の単位格子が導ける。さらに、この導かれた単位格子中のすべての銅イオンと塩化物イオンを炭素原子に置き換えると、ダイヤモンドの単位格子となる。ダイヤモンドの炭素-炭素結合距離は0.15 nmである。



問 ダイヤモンドの単位格子の一辺の長さ(nm)はいくらか。小数点以下第3位を四捨五入し、小数点以下第2位まで求めよ。 $\sqrt{3}=1.73$ とする。

岡山大

分子結晶の出題としては『氷』に関する出題が多く見受けられるようです。

**氷は液体の水に浮く。**

**ことを説明出来ますか？**

氷

$$V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$$

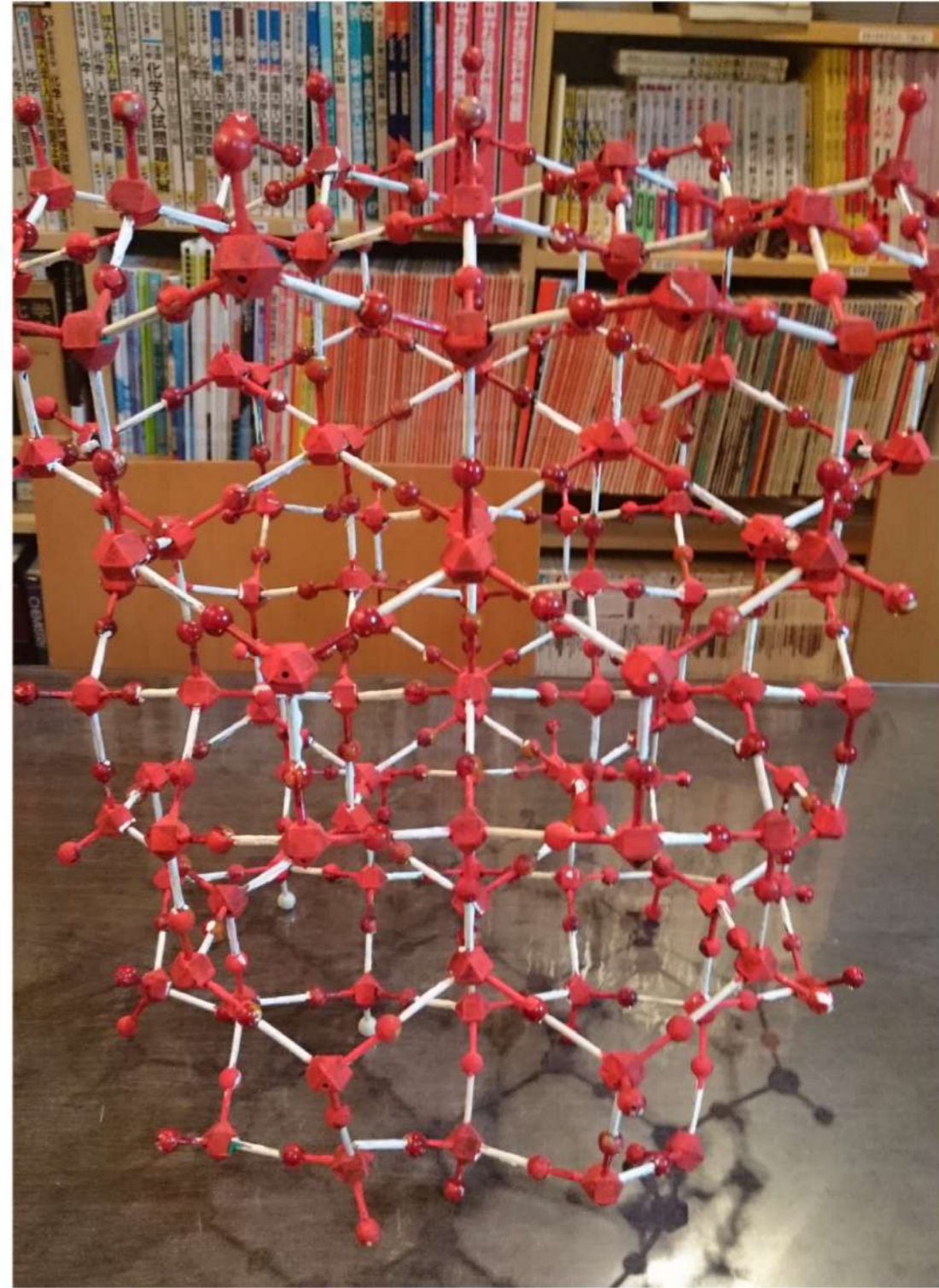
$d$ :密度

$$d_{\text{固体}} < d_{\text{液体}}$$

氷は液体の水に浮く。

では、このことを  
ちゃんと説明出来ますか？

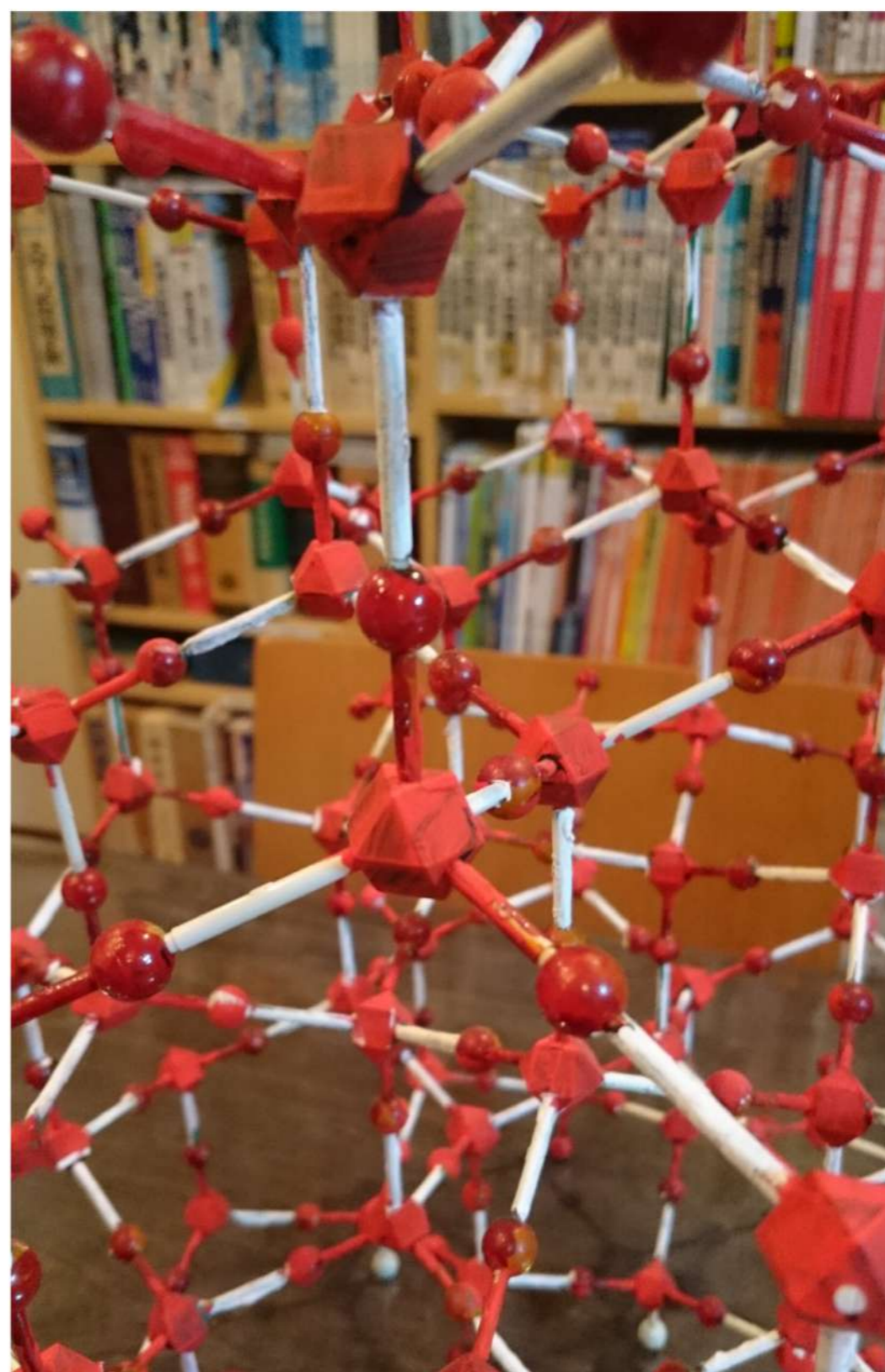
【氷の結晶構造】  
水素結合によって  
結び付けられた  
正四面体構造



【氷の結晶構造】  
水素結合によって  
結び付けられた  
正四面体構造



すき間の多い構造



水素結合による正四面体構造で、すき間が多い。



$$V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$$

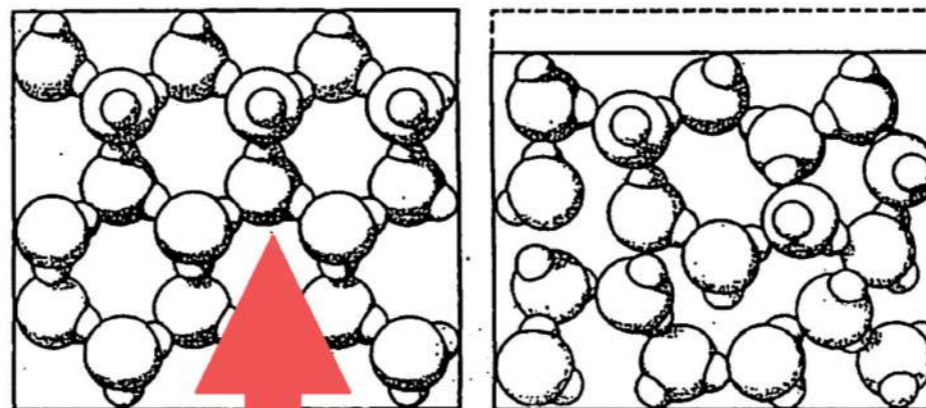
$$d_{\text{固体}} < d_{\text{液体}}$$

氷は水に浮く

H<sub>2</sub>Oの固体と液体とでは、 $V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$

氷の結晶

液体の水



隙間の多い構造

水素結合による正四面体構造



$$V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$$

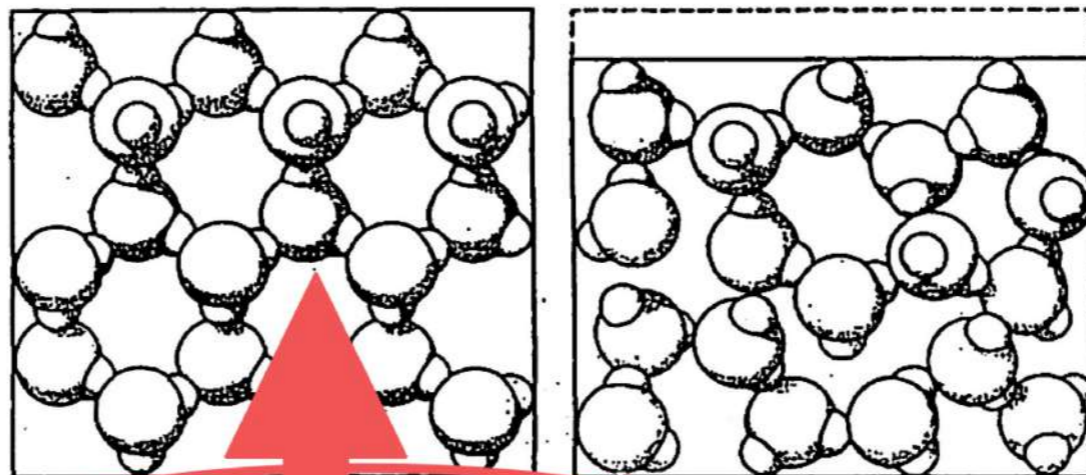
$$d_{\text{固体}} < d_{\text{液体}}$$

氷は水に浮く

H<sub>2</sub>Oの固体と液体とでは、 $V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$

氷の結晶

液体の水



隙間の多い構造

水素結合による正四面体構造

$$V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$$

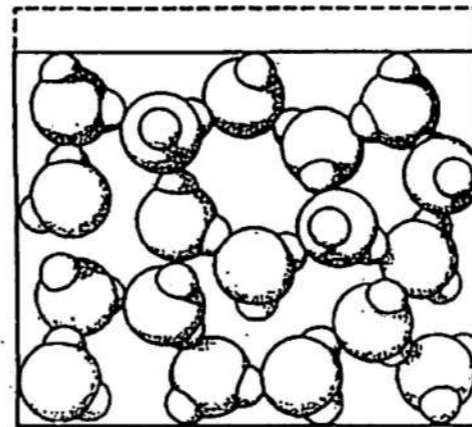
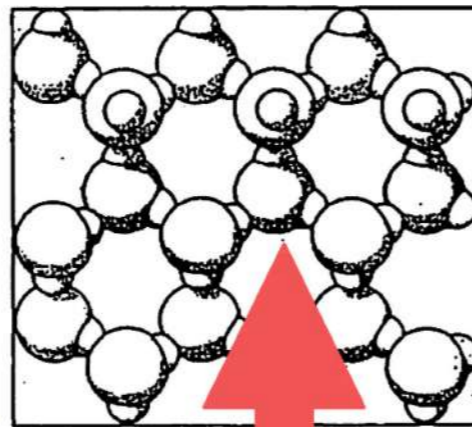
$$d_{\text{固体}} < d_{\text{液体}}$$

氷は水に浮く

H<sub>2</sub>Oの固体と液体とでは、 $V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$

氷の結晶

液体の水



隙間の多い構造

水素結合による正四面体構造

$$V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$$

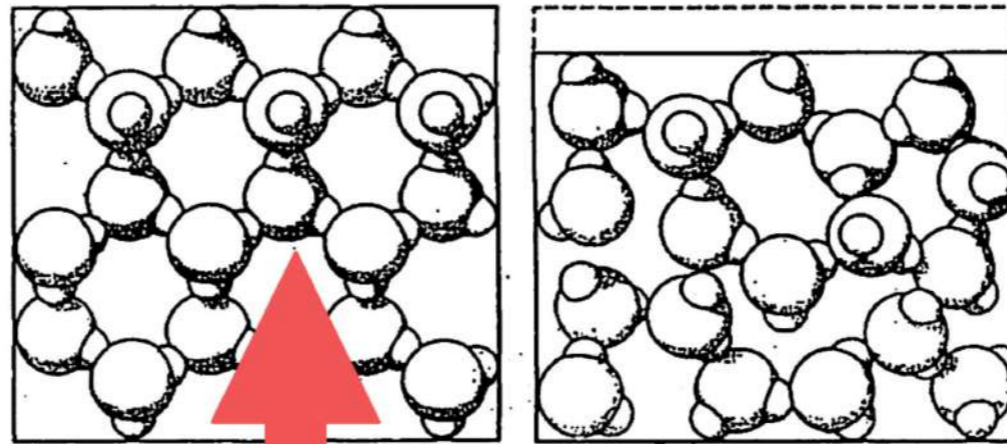
$$d_{\text{固体}} < d_{\text{液体}}$$

氷は水に浮く

H<sub>2</sub>Oの固体と液体とでは、 $V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$

氷の結晶

液体の水



隙間の多い構造

水素結合による正四面体構造

$$V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$$

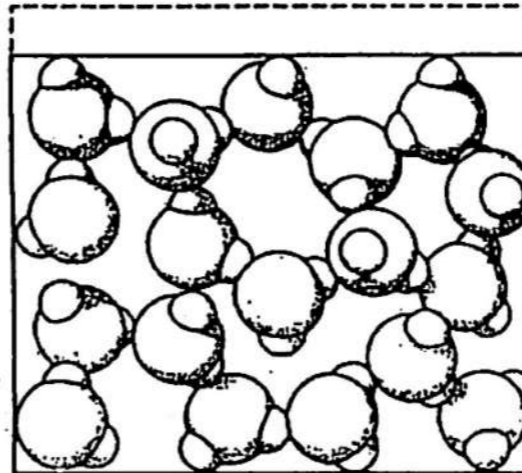
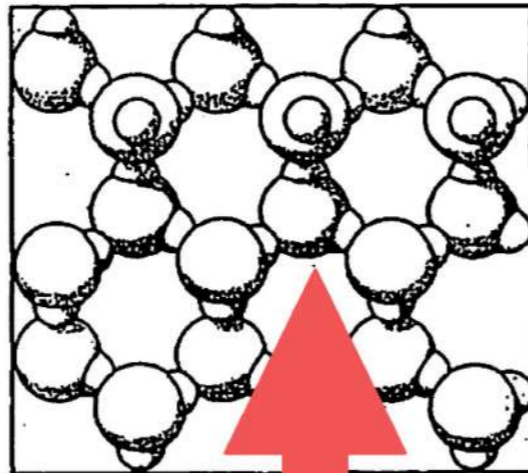
$$d_{\text{固体}} < d_{\text{液体}}$$

氷は水に浮く

H<sub>2</sub>Oの固体と液体とでは、 $V_{\text{固体}} > V_{\text{液体}}$

氷の結晶

液体の水



隙間の多い構造

水素結合による正四面体構造

**お疲れ様  
でした。**

