

化学Ⅱ

2015年10月～2016年2月

第3回 10月21日

水曜日1時間目121M講義室

イオン結晶, 共有結晶

担当教員: 福井大学大学院工学研究科生物応用化学専攻

教授 前田史郎

E-mail: smaeda@u-fukui.ac.jp

URL: <http://acbio2.acbio.u-fukui.ac.jp/phychem/maeda/kougi>

教科書: 乾ら, 「化学, 物質の構造・性質および反応」

前田は前半を担当し5・6章を解説する

1

化学Ⅰの内容に引き続き, 以下項目を講義し, 第8回目に中間テスト, 第16回目に期末テストを実施する。

担当教員: 前田史郎

第1回 単位格子, 金属結晶

第2回 共有結晶, 分子結晶

第3回 格子欠陥, 半導体

第4回 気体(気体分子運動論, 気体の液化)

第5回 液体, 固体—気体平衡と状態変化

第6回 自由エネルギー, エンタルピーおよびエントロピー

第7回 溶液(非電解質溶液, 電解質溶液)

第8回 中間テスト

担当教員: 久田研次

第9回 化学平衡(1)—平衡状態—

第10回 化学平衡(2)—酸と塩基—

第11回 酸化と還元(1)—可逆電池と可逆電極—

第12回 酸化と還元(2)—電池の起電力と平衡定数—

第13回 化学反応(1)—化学反応の種類—

第14回 化学反応(2)—反応速度と温度—

第15回 化学反応(3)—連鎖反応—

第16回 期末テスト

Q. 塩化セシウム型とフッ化カルシウム型の違いが分からない

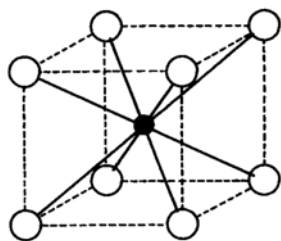


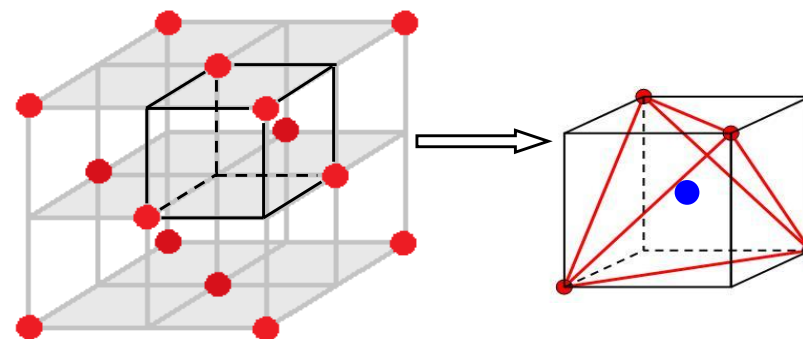
図5・5 塩化セシウム(CsCl)型

●: Cs(8配位) ○: Cl(8配位)

(1) CsとClはそれぞれ単純立方格子を形成する。

(2) CsはClが作る単純立方格子、ClはCsが作る単純立方格子の中心にあり、CsとClは両方とも8配位である。

3

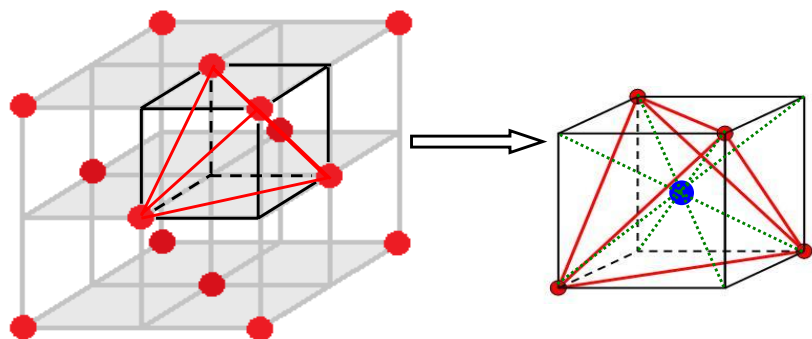


面心立方格子

立方体の中の正四面体

面心立方格子の単位格子は8個の立方体に分けることができる。それぞれの立方体の4つの頂点にある格子点(●)は正四面体を形成している。この正四面体の中心に別の原子(●)が入ると、四面体4配位となる。

この8個の正四面体の中心にできる「すきま」を正四面体間隙という。



面心立方格子

立方体の中の正四面体

面心立方格子の単位格子は8個の立方体に分けることができる。それぞれの立方体の4つの頂点にある格子点(●)は正四面体を形成している。この正四面体の中心に別の原子(●)が入ると、四面体4配位となる。この8個の正四面体の中心にできる「すきま」を正四面体間隙という。

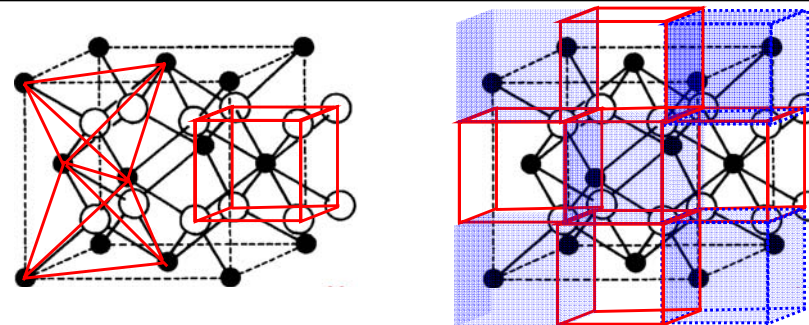
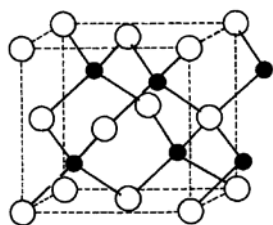


図5・7 フッ化カルシウム(CaF₂)型

● :Ca(8配位) ○ :F(4配位)

- (1) CaはFが作る単純立方格子の $\frac{1}{2}$ の中に入り面心立方格子を形成する。
- (2) Caは**8配位**である。
- (3) Fは、Caが作る面心立方格子の中にできる8個の立方体全部の中心に入り単純立方格子を形成する。
- (4) Fは**正四面体4配位**である。

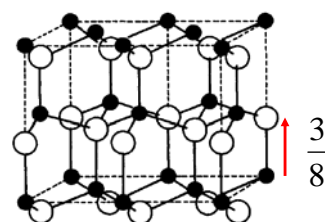
10月17日 硫化亜鉛(ZnS)の閃亜鉛鉱型構造とウルツ型構造の違いを、図を示して説明せよ。



せん亜鉛砒(立方晶系ZnS)型

● :Zn ○ :S

ZnとSがそれぞれ面心立方格子をとっている。Znが作る面心立方格子の中の8つの立方体のうち4つの中心にSが入っている。ZnとSともに、他方の作る正四面体の中心にある。

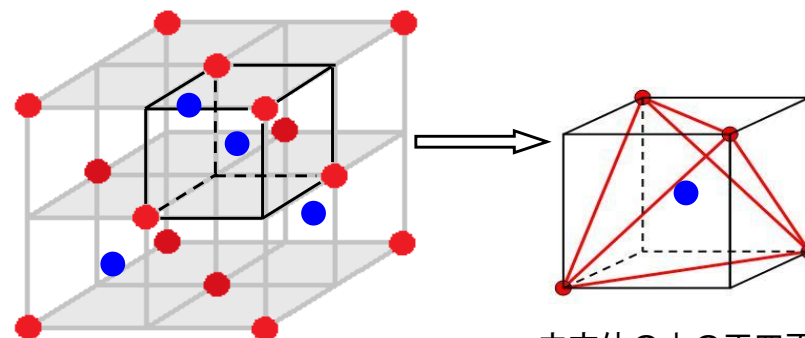


ウルツ砒(六方晶系ZnS)型

● :Zn ○ :S

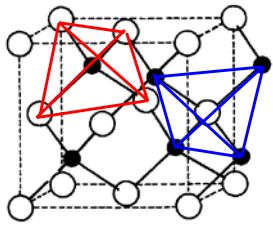
ZnとSがそれぞれ六方最密格子をとっている。Znが作る六方最密格子のz方向に $\frac{3}{8}$ ずれた位置にSが入っている。ZnとSともに、他方の作る正四面体の中心にある。

閃亜鉛鉱型結晶構造



立方体の中の正四面体

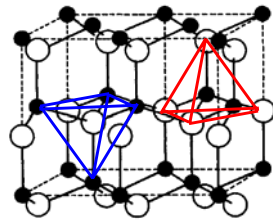
閃亜鉛鉱型結晶構造では、SとZnは、それぞれ面心立方格子を形成しており、8個の立方体に分けることができる。立方体の4つの頂点にある格子点は正四面体を形成している。この正四面体の中心にSあるいはZnが入っているため、SとZnともに正四面体8配位となる。



せん亜鉛鉱(立方晶系ZnS)型

●:Zn(4配位) ○:S(4配位)

ZnとSがそれぞれ面心立方格子をとっている。Sが作る面心立方格子を対角線方向に1/4だけずれた位置にZnがある。その結果、Sが作る面心立方格子の中の8つの立方体のうち4つの中心にSが入っている。ZnとSともに、他方の作る正四面体の中心にあるので4配位である。



ウルツ鉱(六方晶系ZnS)型

●:Zn(4配位) ○:S(4配位)

ZnとSがそれぞれ六方最密格子をとっている。Znが作る六方最密格子のz方向に3/8ずれた位置にSがある。ZnとSともに、他方の作る正四面体の中心にある。

○閃亜鉛鉱型とウルツ鉱型の構造の違いによる性質の違い

共立出版,「化学大辞典」によると,

天然には閃亜鉛鉱として, またまれにウルツ鉱として産出する。

構造 結晶には α , β の2型がある。

α 型は高温で安定. 六方晶系. ウルツ鉱型構造.

β 型は室温で安定. 立方晶系.

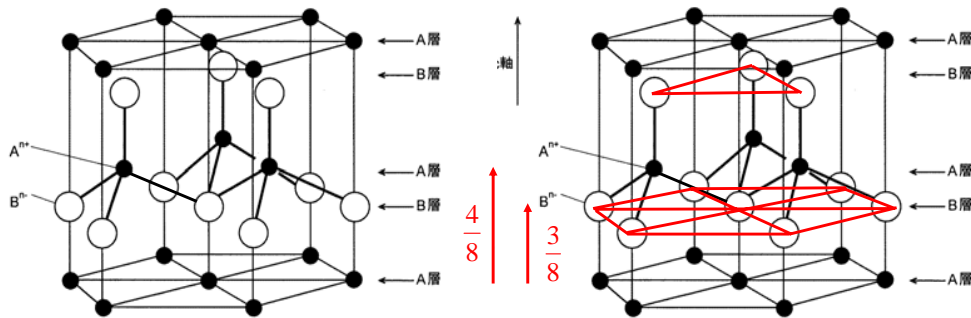
α , β 間の転移温度1020°C.

室温でウルツ鉱を摩砕すれば閃亜鉛鉱に変化する。

性質 白色. 無定型粉末または結晶. 加熱昇華温度1180°C.

融点1850°C(150気圧下). d 4.06.

ウルツ鉱型(六方晶系ZnS)



ウルツ鉱(六方晶系ZnS)型

●:Zn ○:S

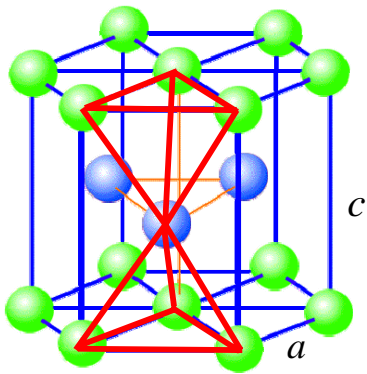
○印の原子も六方格子を形成している。A層とB層はz方向に3/8ずれている。

ZnとSがそれぞれ六方最密格子をとっている。Znが作る六方最密格子のz方向に3/8ずれた位置にSが入っている。

$AH = ③ = \sqrt{①^2 - ②^2} = \sqrt{\left(\frac{\sqrt{3}a}{2}\right)^2 - \left(\frac{\sqrt{3}a}{6}\right)^2}$

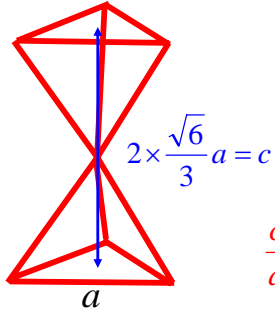
$①^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2 = a^2$
 $① = \sqrt{a^2 - \left(\frac{a}{2}\right)^2} = \frac{\sqrt{3}}{2}a$
 $\frac{①}{②} = \frac{\frac{\sqrt{3}}{2}a}{\left(\frac{a}{2}\right)} = \frac{\sqrt{3}}{2} = \frac{\sqrt{3}}{2}a$
 $\sqrt{3}② = \frac{a^2}{2}$
 $② = \frac{\sqrt{3}a}{6}$

正四面体の一辺を a とすると、
高さ $AH = \frac{\sqrt{6}}{3}a$ である。

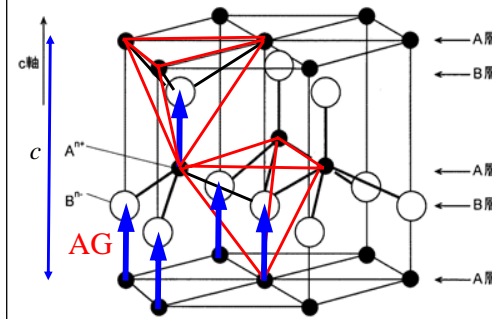
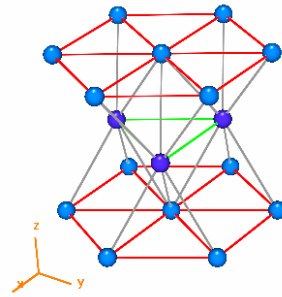


正四面体の一边を a とすると、
高さ $AH = \frac{\sqrt{6}}{3}a$ である。

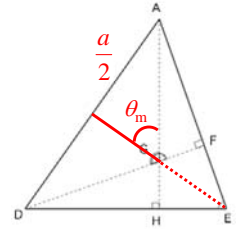
六方最密充填格子の c と a の比は
 $c/a = 1.633$ である。



$$\frac{c}{a} = 2 \times \frac{\sqrt{6}}{3} = 1.633$$



θ_m は正四面体角の1/2
 $\theta_m = 54.7^\circ$
 $\cos \theta_m = 1/\sqrt{3}$,
 $\sin \theta_m = \sqrt{2/3}$
 $\sin \theta_m = a/2/AG$
 $AG = a/2/\sin \theta_m$
 $= (\sqrt{6}/4)a$

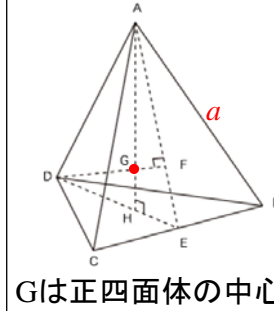


B層はA層よりもAGだけ上にある。

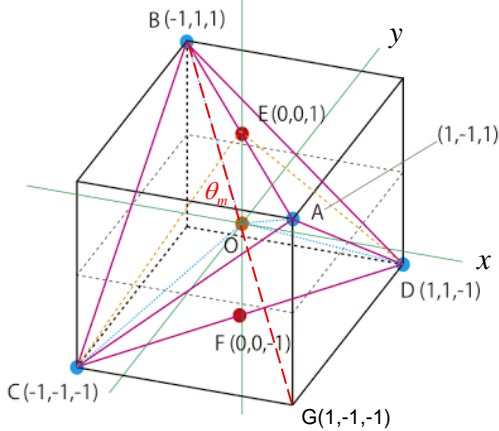
$c = \frac{2\sqrt{6}}{3}a$ であるから、

$$\frac{AG}{c} = \frac{\sqrt{6}}{4}a / \frac{2\sqrt{6}}{3}a = \frac{3}{8}$$

ウルツ鉱型構造のB層はA層から $\frac{3}{8}$ ずれた位置にある。



正四面体角



一辺が a の立方体の中にある
 一辺が $\sqrt{2}a$ の正四面体を考える。
 対角線ABの長さは $\sqrt{2}a$
 対角線BGの長さは $\sqrt{3}a$
 $\angle AOB = 109.5^\circ$ を正四面体角という。
 $\angle EOB = 54.7^\circ$ をマジック角 θ_m という。
 直角三角形EOBを考えると、

$$\cos \theta_m = \frac{\frac{1}{2}a}{\frac{\sqrt{3}}{2}a} = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad \therefore \theta_m = 54.7^\circ$$

正四面体角
 $\angle AOB = 2 \times \angle EOB = 109.5^\circ = 109^\circ 28'$

http://www.tetrastyle.net/2011/07/blog-post_831.html

5.3 イオン結晶

イオン結晶では、イオン間の静電相互作用(クーロン力)によって、結びつけられている。結晶構造はイオンの電荷、半径比(陽イオン半径/陰イオン半径)、イオン結合の共有性などできる。半径比によって、配位数が限定されるので、取り得る結晶構造が異なる。

陽イオンは陰イオンに、また陰イオンは陽イオンに取り囲まれるような配置をとり、かつ最も密に詰まろうとする傾向にある。一般に陰イオンのイオン半径は陽イオンの半径よりも大きい。このためイオン結晶の構造は密に詰まった陰イオンの間隙に陽イオンが入りこんだような構造をしていることが多い。

イオン結晶構造の配位数と最小(限界)半径比

ある結晶構造をとるのに必要な最小のイオン半径比があり、下の表に示した値を持っている。イオン半径比と相互の配位数の関係は、次のようにまとめられる。

配位数	4配位	6配位	8配位
結晶構造例	閃亜鉛鉱型	NaCl型	CsCl型
最小半径比	0. 225	0. 414	0. 732

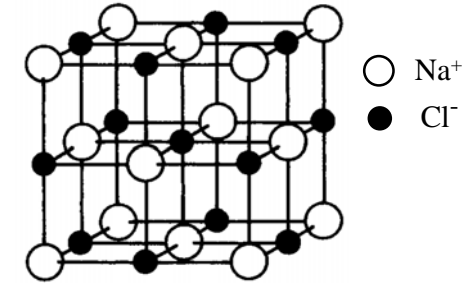
ZnSは半径比0.40, NaClは0.56, CsClは0.93である。陽イオンの半径が大きくなると、半径比の値は大きくなる。

○イオン結晶構造の配位数

(1)6配位:塩化ナトリウム型構造

クーロン力には方向性がないので、 Cl^- は Na^+ のまわりあらゆる方向から集まってイオン結晶を形成する。反対符号のイオンに囲まれている数を配位数という。

Na^+ と Cl^- は、それぞれ**6配位**をとり、面心立方格子を形成する。



NaCl: **塩化ナトリウム型構造**

18

(2)8配位:塩化セシウム型構造、8配位と4配位:フッ化カルシウム型構造

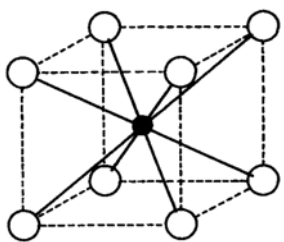


図5・5 塩化セシウム(CsCl)型
●:Cs(8配位) ○:Cl(8配位)

CsとClはそれぞれ**8配位**をとり、**単純立方格子**を形成する。

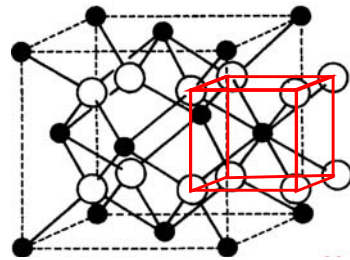
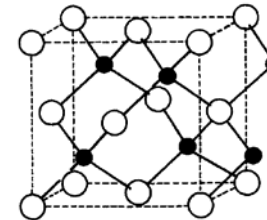


図5・7 フッ化カルシウム(CaF_2)型
●:Ca(8配位) ○:F(4配位)

Caは**8配位**であり面心立方格子を形成する。Fは、その中にできる8個の立方体の中心にあり**正四面体4配位**である。

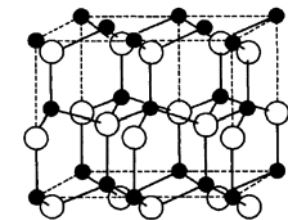
19

(3)4配位:せん亜鉛鉱型構造,ウルツ鉱型構造



せん亜鉛鉱(立方晶系ZnS)型

●:Zn(4配位) ○:S(4配位)
ZnとSがそれぞれ面心立方格子をとっている。Sが作る面心立方格子を対角線方向に1/4だけずれた位置にZnがある。その結果、Sが作る面心立方格子の中の8つの立方体のうち4つの中心にSが入っている。ZnとSともに、他方の作る正四面体の中心にあるので4配位である。



ウルツ鉱(六方晶系ZnS)型

●:Zn(4配位) ○:S(4配位)
ZnとSがそれぞれ六方最密格子をとっている。Znが作る六方最密格子のz方向に3/8ずれた位置にSがある。ZnとSともに、他方の作る正四面体の中心にあり、4配位である。

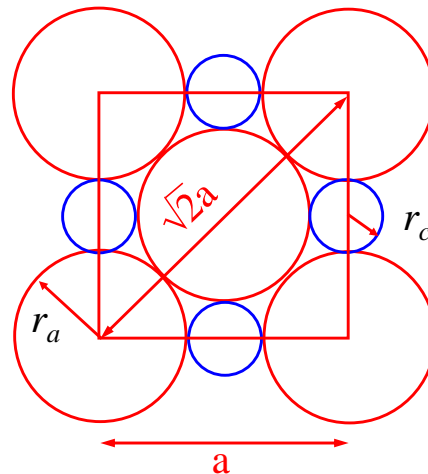
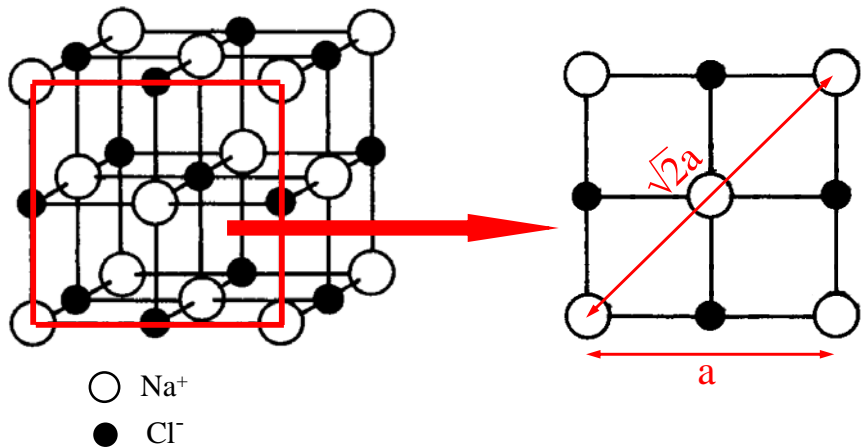
20

○イオン結晶構造の最小(限界)半径比

(1) 6配位の場合

NaCl: 塩化ナトリウム型構造

Na⁺とCl⁻は、それぞれ6配位をとり、面心立方格子を形成する。

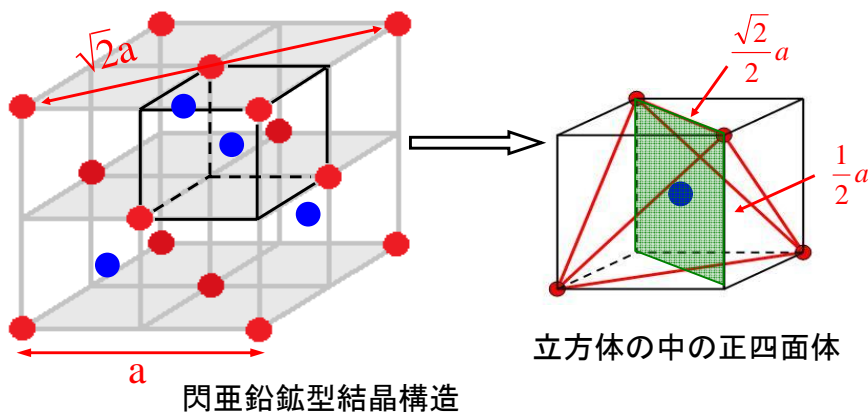


$$\begin{cases} 4r_a = \sqrt{2}a \\ 2r_a + 2r_c = a \end{cases}$$

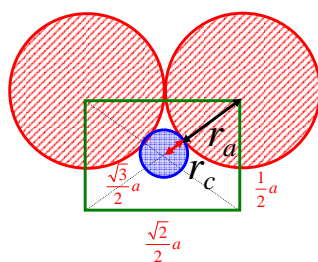
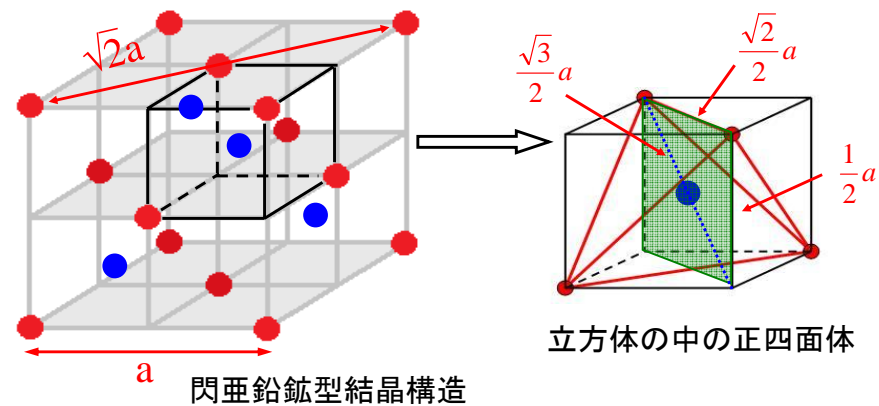
$$\frac{r_c}{r_a} = \sqrt{2} - 1 = 0.414$$

6配位のNaCl型結晶構造の場合、陰イオン半径 r_a が最大のときの最小半径比は0.414である。陽イオン半径 r_c が大きくなると陰イオンは接触しなくなるが、陽イオンと陰イオンどうしは接触している。

(2) 4配位の場合



閃亜鉛鉱型結晶構造では、陰イオンは面心立方格子であり、8個の立方体に分けることができる。それぞれの立方体の4つの頂点にある格子点は正四面体を形成している。この正四面体の中心に陽イオンが入っているので、四面体4配位となる。



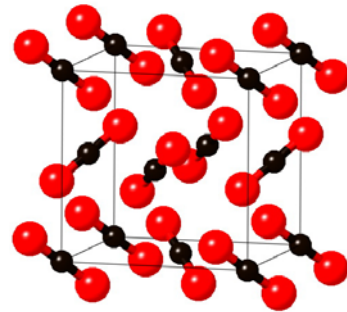
$$\begin{cases} 2r_a = \frac{\sqrt{2}}{2}a \\ 2(r_a + r_c) = \frac{\sqrt{3}}{2}a \end{cases} \quad \frac{r_c}{r_a} = \frac{\sqrt{6}}{2} - 1 = 0.225$$

5.6 分子結晶

分子が一つの単位となって格子点を占めているものを分子結晶という。結晶構造は水素結合、双極子-双極子相互作用、あるいは分子間力(ファンデルワールス力)によって保たれている。

双極子モーメントを持つ分子同士なら、双極子-双極子相互作用が分子間力として働く。

双極子モーメントを持たない分子、He, Ne, H₂, CH₄, CO₂などの分子ではファンデルワールス力が分子間力として働く。



CO₂の結晶構造

<http://som.web.cmu.edu/structures/S104-CO2.html>

分子結晶の特徴

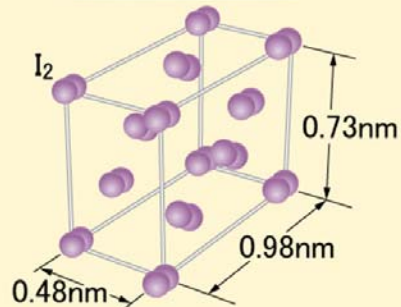
(i)密度が低いので柔らかい。

(ii)結合力が弱いので融点、沸点ともに低い。

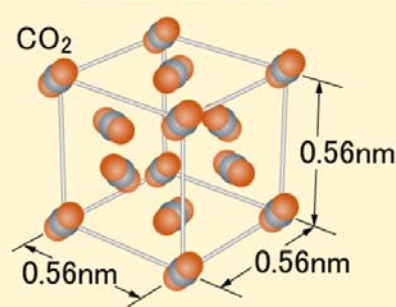
(ii)電子が共有結合で分子内にとどまっているので電気伝導性を示さない。

分子間力による結晶

ヨウ素の結晶



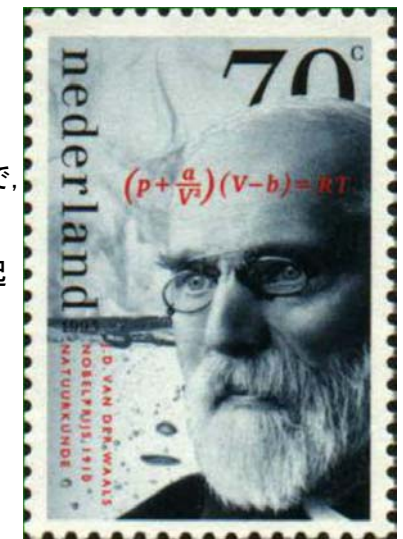
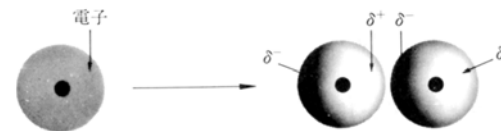
二酸化炭素の結晶



JST(科学技術振興機構)理科ねっとわーく <http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0200a/start.html>

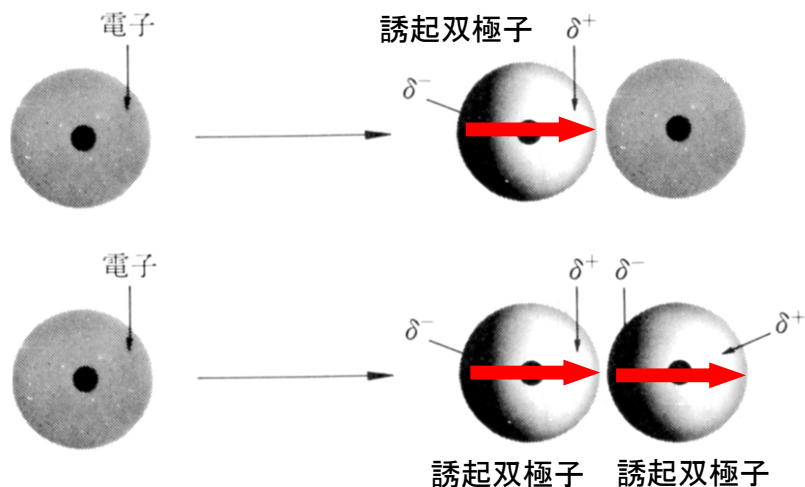
ファンデアワールス力(van der Waals force)

通常、原子核の周りの電子分布は球対称であるが、電子は絶えず動き回っているため、ある瞬間の電子分布は球対称ではなく、いずれかに偏って双極子を生じる。これを誘起双極子という。さらに、この誘起双極子が、近くの分子に誘起双極子を誘起し、誘起双極子どうしで静電的に引き合う。これがファンデアワールス力である。



1837年~1923年

1910年 ノーベル物理学賞



無極性分子どうしても、誘起双極子-誘起双極子相互作用に基づく分子間力(ファンデアワールス力)が働く。

表4. 1 いろいろな物質における結合の種類と結合エネルギー

物質	結合の種類	結合エネルギー(kJ/mol)
食塩	イオン結合	764
ダイヤモンド	共有結合	718
ケイ素	共有結合	459
銅	金属結合	341
アルミニウム	金属結合	165
氷	水素結合	20
ドライアイス	ファンデルワールス力	4

水素結合

水素結合は、共有結合の1種と考えることができる。水素と電気陰性度の大きな原子との間に形成される。通常の共有結合に比べてはるかに弱い、水が分子量に比べて異常に高い融点や沸点を持つことや、タンパク質の構造形成に重要な役割を果たしている。

多くの場合、電気陰性度の高い原子に結合している水素原子が δ^+ となるので、電気陰性度の高い2個の原子が水素原子を介して結びつくことが多い。



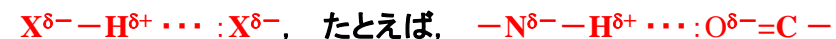
○イオン結合も水素結合も静電的に結びついている。これらの結合の違いは？

イオン結合は Na^+Cl^- のように、+イオンと-イオンのクーロン引力で結びついていて、(1)大きな結合エネルギーを持つ。+eイオンと-eイオンの間のクーロン力 F は、イオン間距離を r とすると、

$$F \propto -e^2/r^3$$

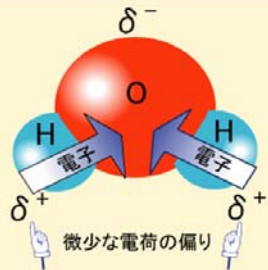
で表され、距離だけの関数であり、(2)方向性を持たない。

水素結合は、電気陰性度の大きな原子 X と水素 H の共有結合 XH において、結合電子が X に偏るために $\text{X}^{\delta-}$ と $\text{H}^{\delta+}$ になっている場合に、 $\text{H}^{\delta+}$ が隣の分子の非共有電子対: $\text{X}^{\delta-}$ と静電的に弱く結びついたもの、



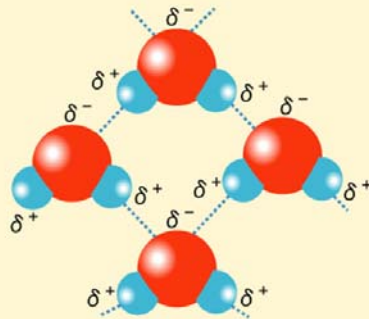
をいう。(1)結合エネルギーが小さい、(2)結合に方向性がある、といった特徴がある。

水分子における水素結合

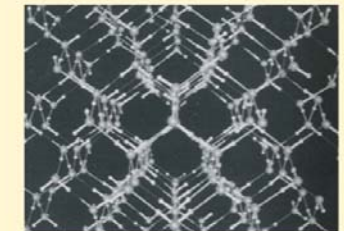
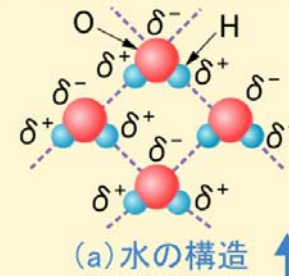
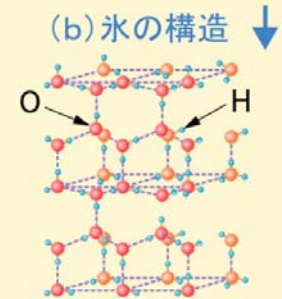
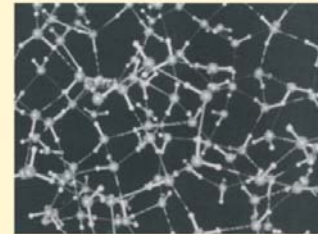


電気陰性度の差から電子は酸素側に偏る。その結果分子の酸素側にマイナスの電荷が、水素側にはプラスの電荷が微量に生じる。これを分極という。

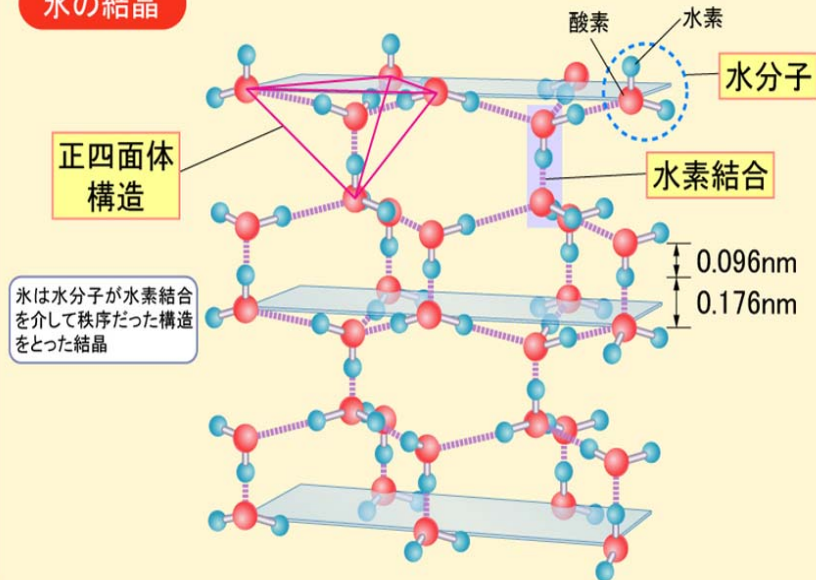
分極した分子はお互いに＋と－を近づけるように配置することでクーロン引力によって安定化する。このため、水は他の分子よりも分子間の引力が強い。これが水の沸点が異常に高い理由である。



水と氷の構造

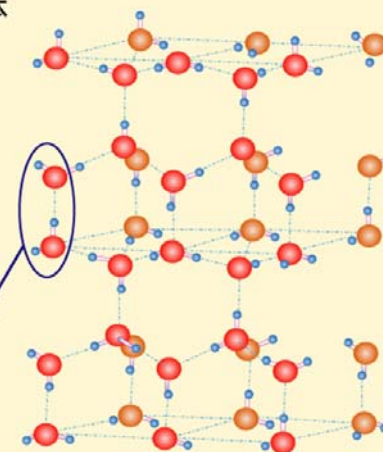
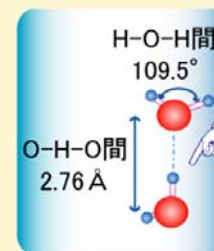
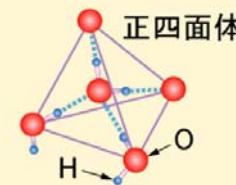


氷の結晶



氷の結晶構造

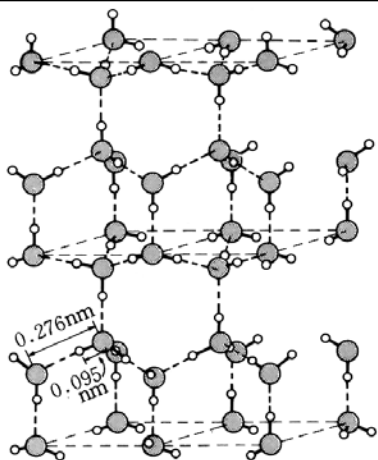
水素結合は方向性のある結合



酸素は水素は正四面体方向に二本の共有結合と二本の水素結合を生じて結晶となる。

方向性が優先されるため隙間の多い構造 充填率32%

↓
水は固体になると体積が増える。(水の異常性)



● 酸素 ○ 水素

図5-14 氷の結晶構造

通常の氷 I は六方晶系(ウルツ鉱型)で、酸素原子はほぼ正四面体の4配位構造をとる。

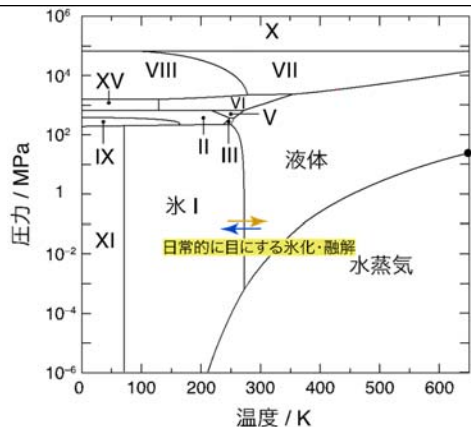


図1: 水の温度・圧力相図

日常で目にする、冷凍庫でできる氷は氷I(こおり"1")と呼ばれ、実験で確認された順に氷I、氷IIと番号が与えられている。これまでに16種類の氷が見つかっている。

http://www.okayama-u.ac.jp/tp/release/release_id184.html

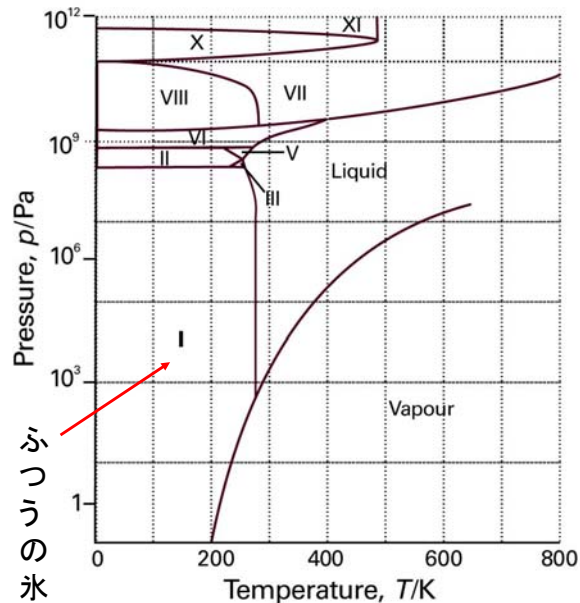


Figure 4-5
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

図4-5 水の相図

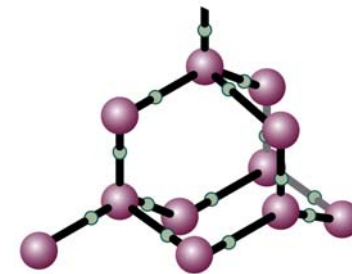
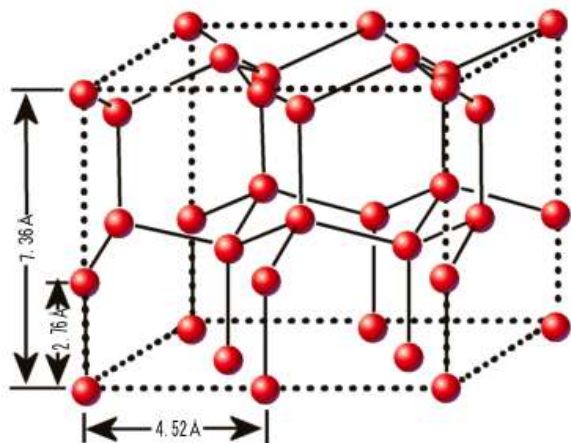


図4-6 氷(氷 I)の構造の一部。各O原子は2本の共有結合で2個のH原子と結合し、さらに2本の水素結合で隣の2個のO原子と結合している。その配置は正四面体をつくる。



ウルツ鉱(六方晶系ZnS)型

● : Zn ○ : S

ZnとSがそれぞれ六方最密格子をとっている。Znが作る六方最密格子のz方向に3/8ずれた位置にSが入っている。

氷 I の六方晶系ウルツ鉱型結晶構造
水素原子は省略されている。
赤丸は酸素原子。

12章 分子の対称

12-1 対称操作と対称要素

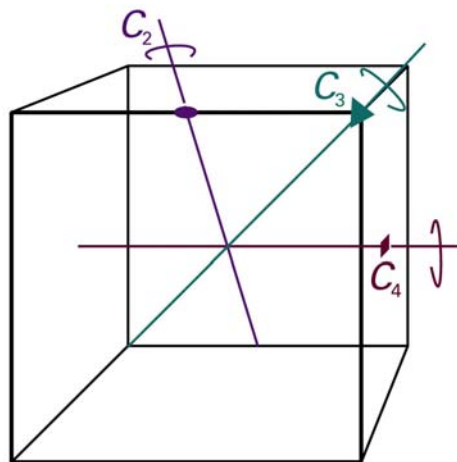
対称操作(symmetry operation): 物体をある規則に従って移動させた前後で、その物体が同じ配向をとっているとき、この移動を対称操作という。代表的な対称操作には、**回転**、**鏡映**、および**反転**がある。

対称要素(symmetry element): 幾何学的な意味での**線**(line)、**面**(plane)、**点**(point)であって、これらの対称要素に関して1つあるいはそれ以上の対称操作を行う。例えば回転(対称操作)はある軸(対称要素)の回りに実行する。

C_2 : 2回軸 12個の辺の中央を結ぶ6個の C_2

C_3 : 3回軸 8個の頂点を結ぶ4個の C_3

C_4 : 4回軸 6個の面の中央を結ぶ3個の C_4



n 回回転軸

$$C_n: n = 360^\circ/\theta$$

$\theta=90^\circ$ のとき4回回転軸

図12・1 立方体の対称要素の例。
2回軸を6個, 3回軸を4個, 4回軸を3個持っている。回転軸を慣用の記号で示してある。

41

分子の対称性

427

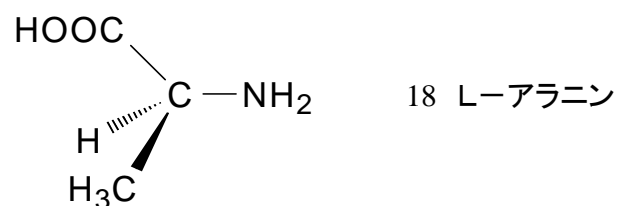
対称操作	記号*	対称要素
1) 恒等(identity)	E	恒等要素
2) 回転(rotation)	C_n	n 回回転軸
3) 鏡映(reflection)	$\sigma (S_1)$	鏡面
4) 対称心による反転(inversion)	$i (S_2)$	対称心(対称中心)
5) 回映(improper rotation)	S_n	n 回回映軸

*記号: シェーンフリースの記号

鏡映は1回回映(S_1), また対称心による反転は2回回映(S_2)に等しい。
対称操作は, 大きく分けると回転(C_n)と回映(S_n)に分けることができる。そして, 回映対称(S_n)を持たない分子はキラルである。

42

(1) 恒等 identity, E



恒等操作

分子に対して何もしないという対称操作

- (1) この対称要素しか持たない分子が存在する。
- (2) 群の定義に, 恒等操作が必要である。

43

(2) 対称軸のまわりの回転 rotation C_n

$$n = 2\pi/\theta$$

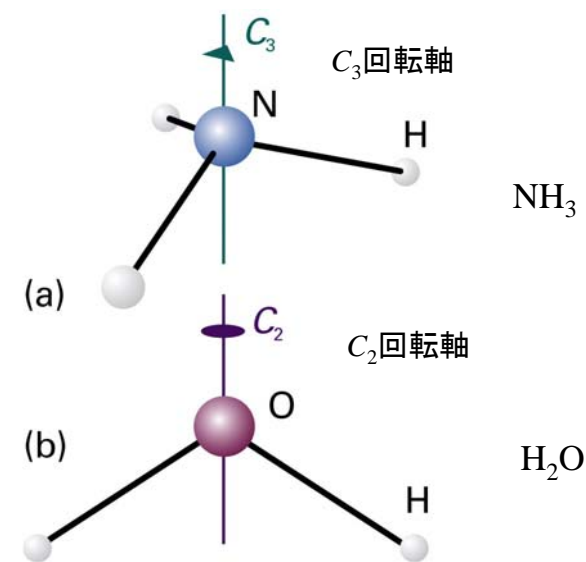


Figure 12-2
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

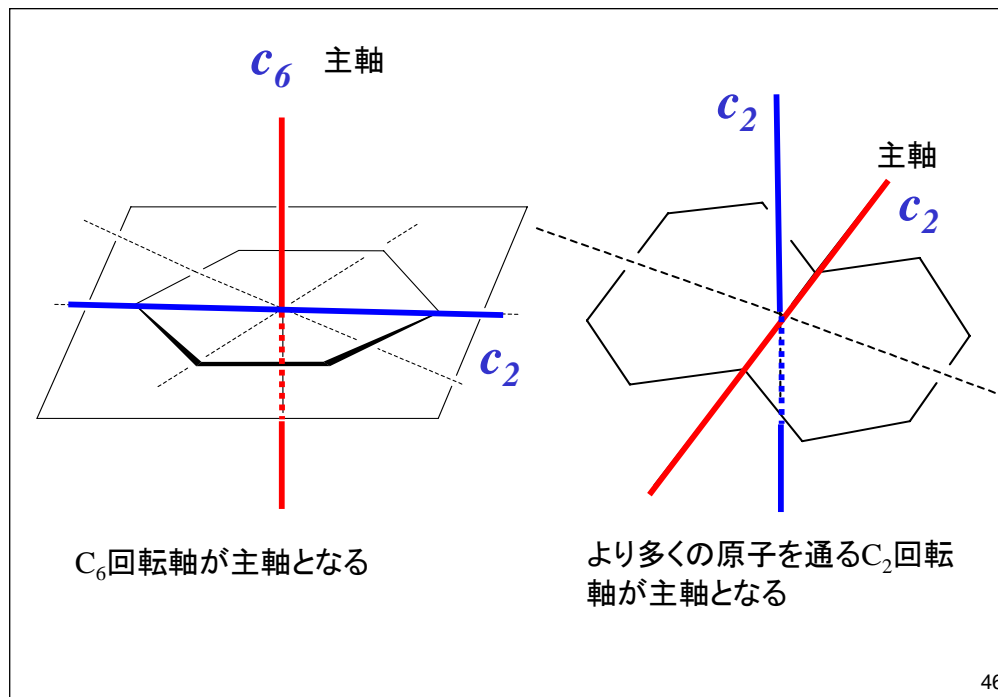
44

対称軸の選び方

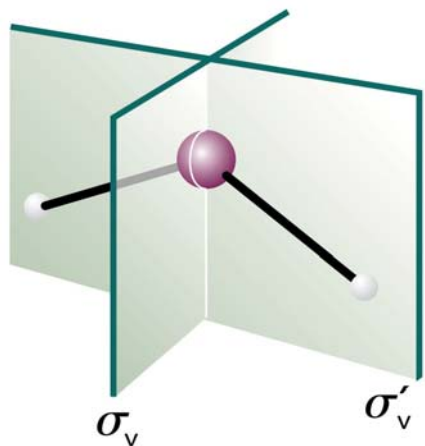
主軸:

- (1) 1本の回転軸ではその軸を主軸とする.
- (2) n 本の回転軸があるとき, 最大の n の軸を主軸とする.
- (3) 最大の n を有する軸が複数のとき, 最も多くの原子を通過する軸を主軸とする.

45



(3) 対称面での鏡映 reflection σ



σ_v : 主軸を含む鏡面
(v:vertical)

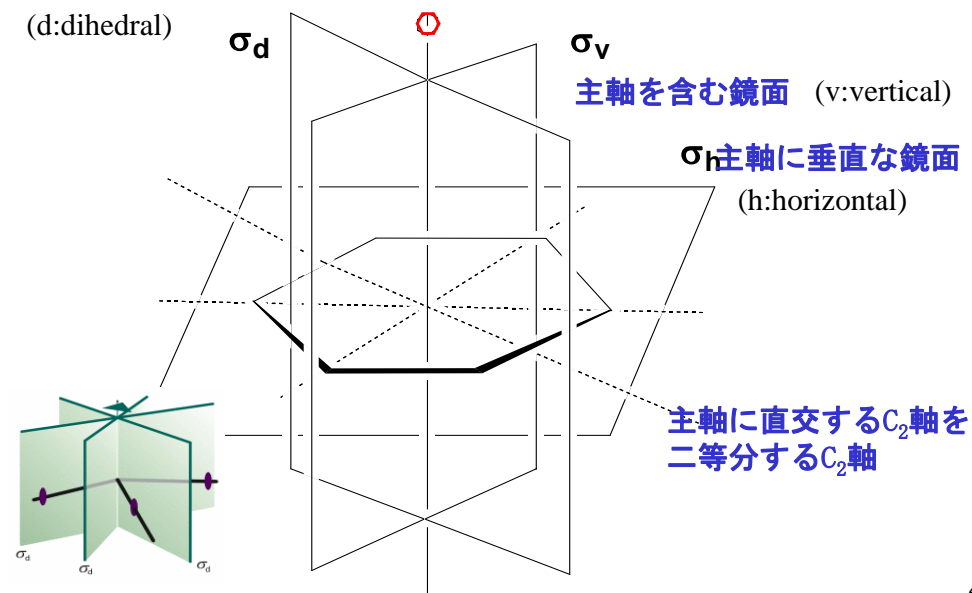
Figure 12-3
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

図12・3 H_2O 分子は2つの鏡面を持つ. これらは両方とも垂直であり (つまり主軸を含む) σ_v と σ_v' である.

47

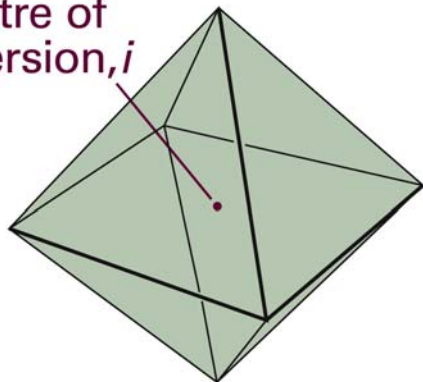
二等分鏡面: 主軸に直交する C_2 軸を二等分する C_2 軸と主軸とを含む鏡面

(d:dihedral)



(4) 対称中心による反転 inversion i

Centre of inversion, i



H_2O , NH_3 , CH_4 , 正四面体は対称心を持たない。

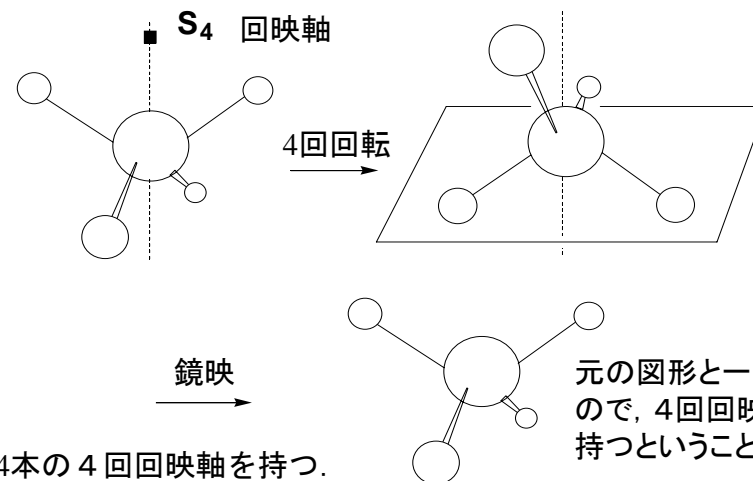
球, 立方体, 正八面体は対称心を持つ。

Figure 12-5
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

全ての点を分子の中心まで移動させ、さらに反対側に同じ距離移動させたとき、元の形と同じになる場合、この分子は対称心を持つ。

49

(5) 回映 improper rotation S_n



CH_4 は4本の4回回映軸を持つ。

元の図形と一致するので、4回回映対称を持つということが出来る。

n 回回転の後、鏡映を行う対称操作を n 回回映対称操作という。

50

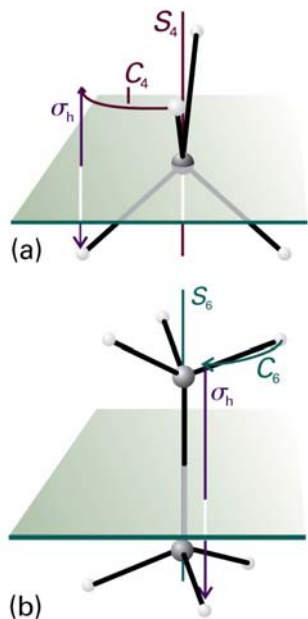


図12・6

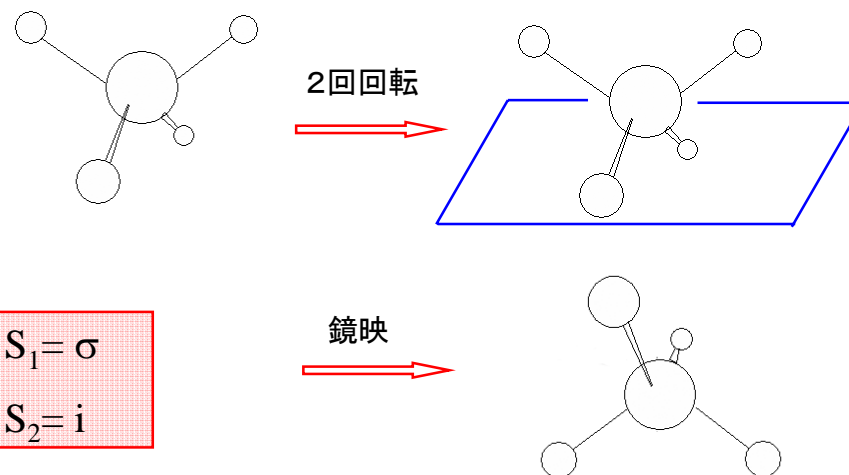
(a) CH_4 分子は4回回映軸(S_4)を持つ。この分子を 90° 回転させ、続いて水平面で鏡映させたあとの形はもとと区別できない。

(b) エタンのねじれ形は S_6 軸を持つ。これは、 60° 回転につづいて鏡映を行う。

Figure 12-6
Atkins Physical Chemistry, Eighth Edition
© 2006 Peter Atkins and Julio de Paula

51

2回回映 S_2

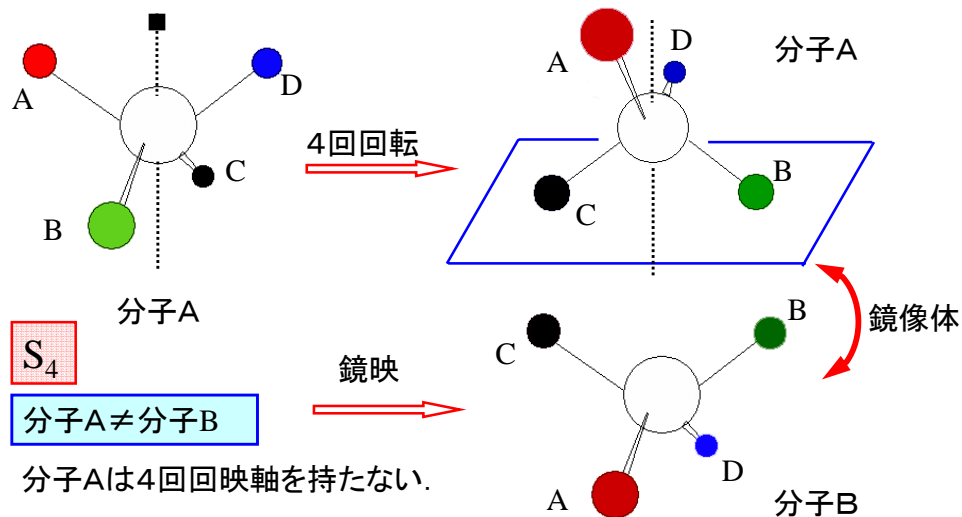


$$S_1 = \sigma$$

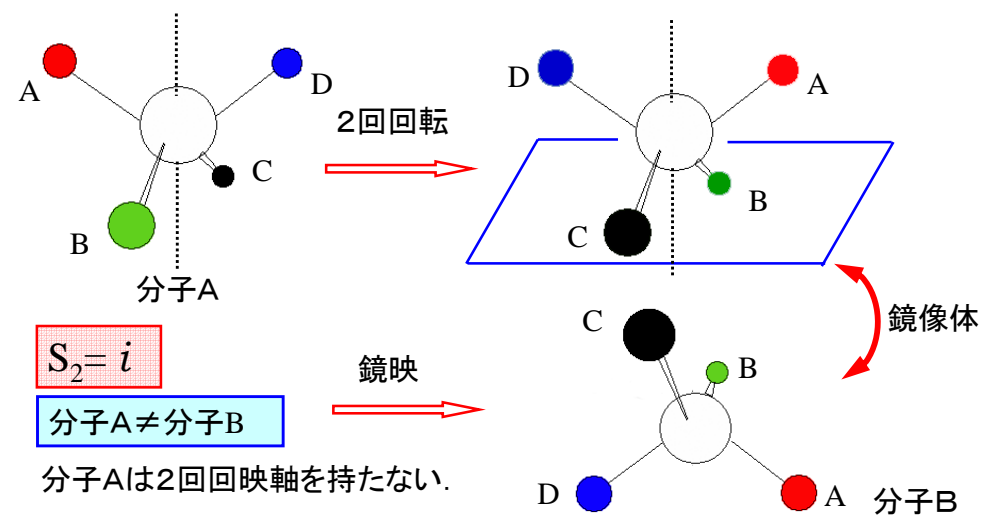
$$S_2 = i$$

2回回映対称は対称中心による反転と同じ対称操作である。1回回転は何もしないのと同じだから、1回回映対称は鏡映と同じ対称操作である。

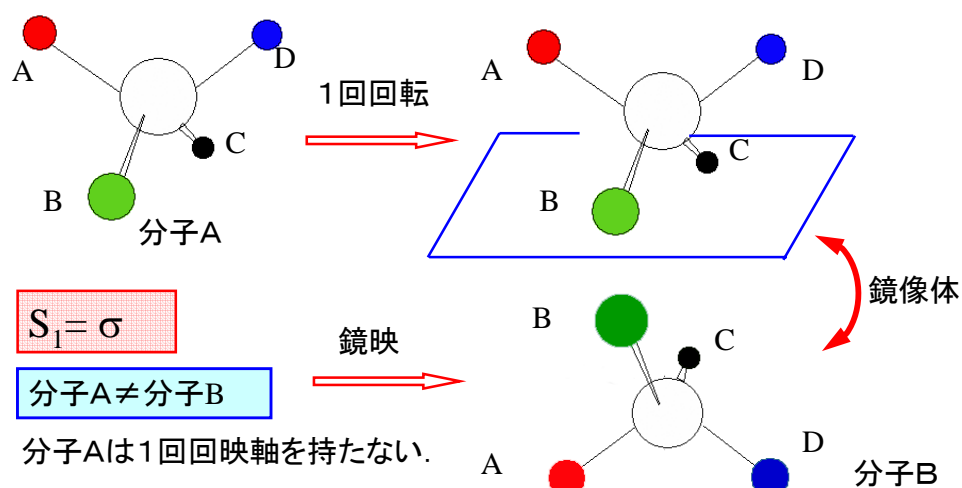
52



この分子Bは分子Aとは一致しない。つまり、キラル分子は4回回映対称を持たない。一般に、回映対称を持つ分子はキラルではない。



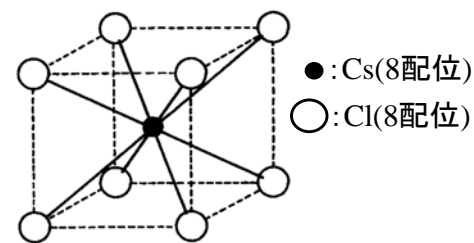
この分子Bは分子Aとは一致しない。つまり、キラル分子は2回回映対称を持たない。一般に、回映対称を持つ分子はキラルではない。



この分子Bは分子Aとは一致しない。つまり、キラル分子は1回回映対称を持たない。一般に、回映対称を持つ分子はキラルではない。

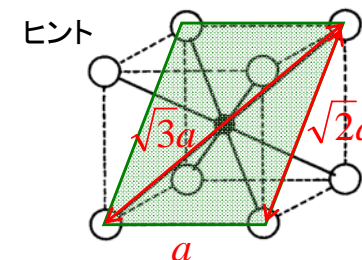
10月21日, 学生番号, 氏名 (用紙は縦にを使って下さい)

(1) [章末問題8] 8配位の塩化セシウム型結晶構造における, 陽イオンと陰イオンの最小半径比が0.732であることを説明しなさい。



塩化セシウム(CsCl)型

CsとClはそれぞれ8配位をとり, 単純立方格子を形成する。



緑色の面内で大きな陰イオンが接しており, 小さな陽イオンが隙間に入っている。

(2) 本日の授業についての質問, 意見, 感想, 苦情, 改善提案などを書いてください。