

# 入門化学05

配位結合、分子間力、金属結合、  
結晶の種類、アモルフォス

シマエナガ



アカゲラ



クロツグミ



アオジ



5月の鳥

## 5月8日の課題

### 学生さんの解答例 (良い例)

(1) 10gずつあるときのそれぞれの物質の物質質量。

(a) 酸素分子

$$10 \div 32 = 0.1325 \quad \text{A } 0.133 \text{ mol}$$

(b) 水

$$10 \div 18 = 0.555\cdots \quad \text{A } 0.555 \text{ mol}$$

(c) アンモニア

$$10 \div 17 = 0.588\cdots \quad \text{A } 0.588 \text{ mol}$$

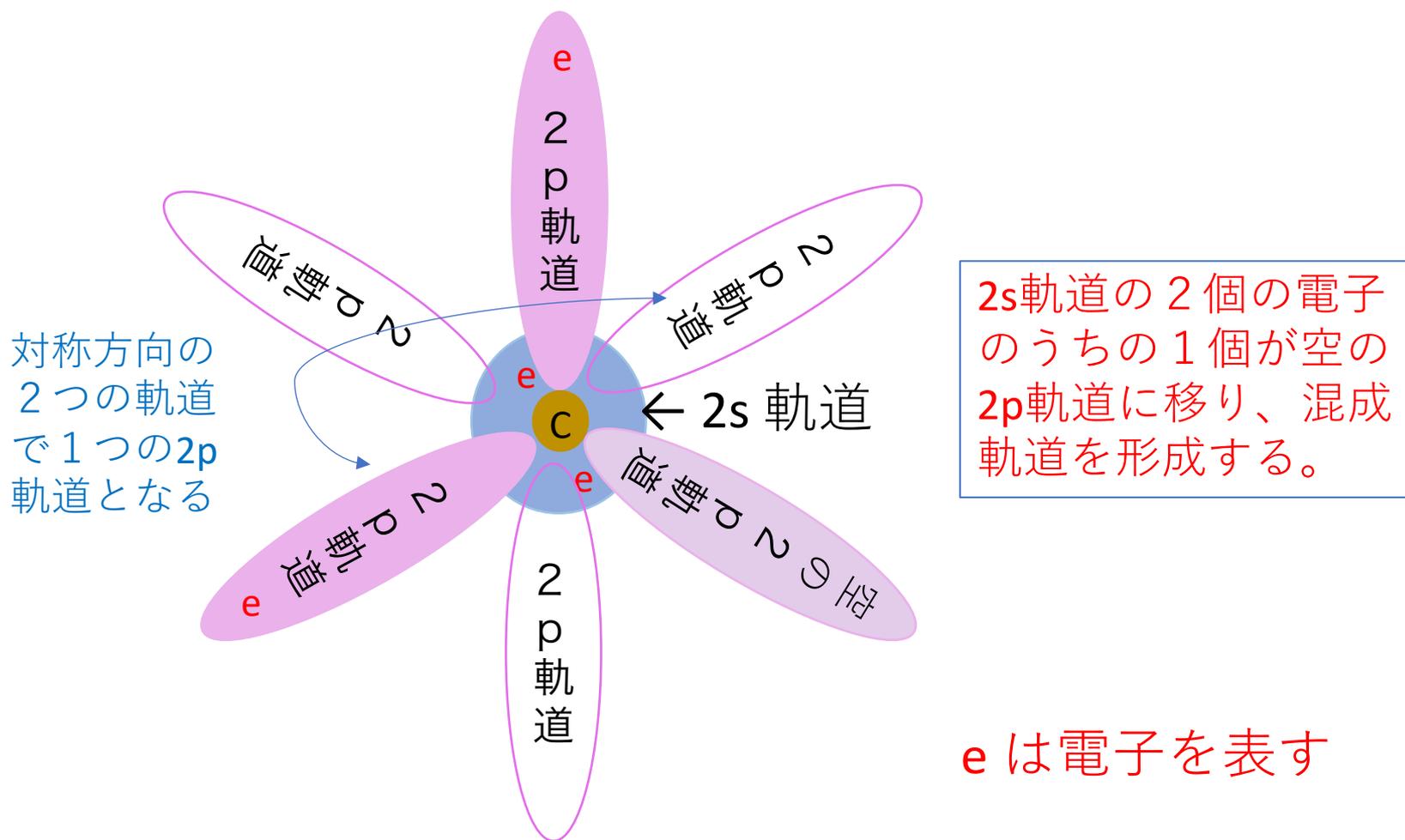
(2) 水酸化ナトリウム20gを水に溶かして容量を1Lにした場合のモル濃度(mol/L)を求めよ。

$$20 \div (23+16+1) \div 1 = 0.5 \quad \text{A } 0.5 \text{ mol/L}$$

# 良かった点

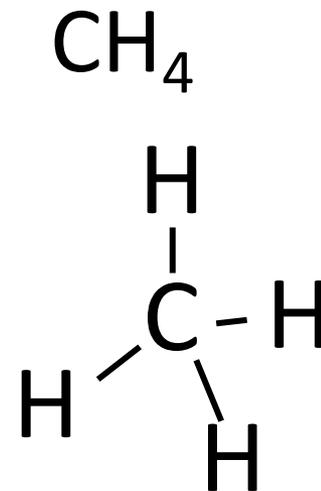
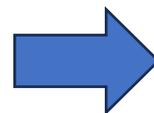
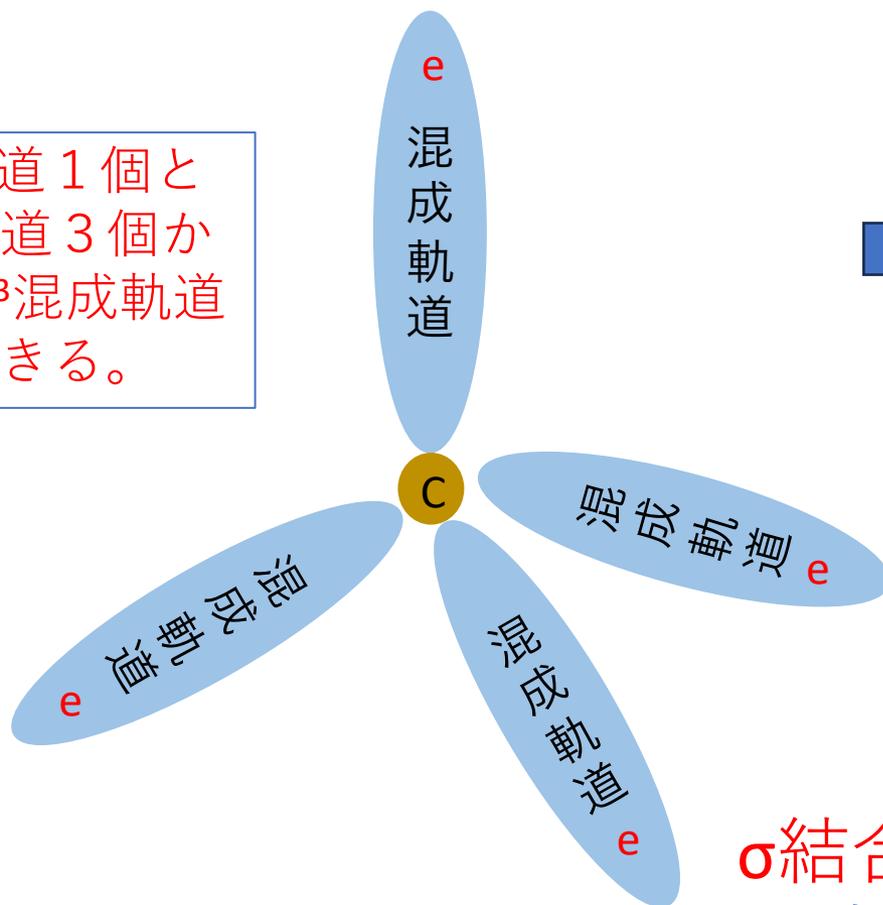
- 何に対する解答かわかるように、文章および語句が添えてある。
- 正しい計算式が書いてある。
- 計算の解答は2桁ないし3桁で良い。それ以上多すぎても少なすぎても良くない。
- 資料1 化学計算の基礎 (p. 238)に、有効数字の取り扱いについて書いてあるので、読んでおいてください。
- 計算結果の桁数は一番少ない有効数字の桁数に合わせる。

# 混成軌道の復習：基底状態



# 混成軌道の復習： $sp^3$ 混成軌道

2s軌道 1個と  
2p軌道 3個か  
ら $sp^3$ 混成軌道  
ができる。



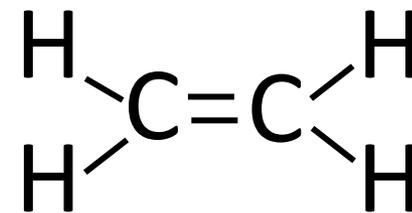
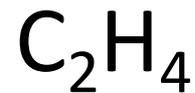
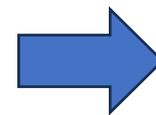
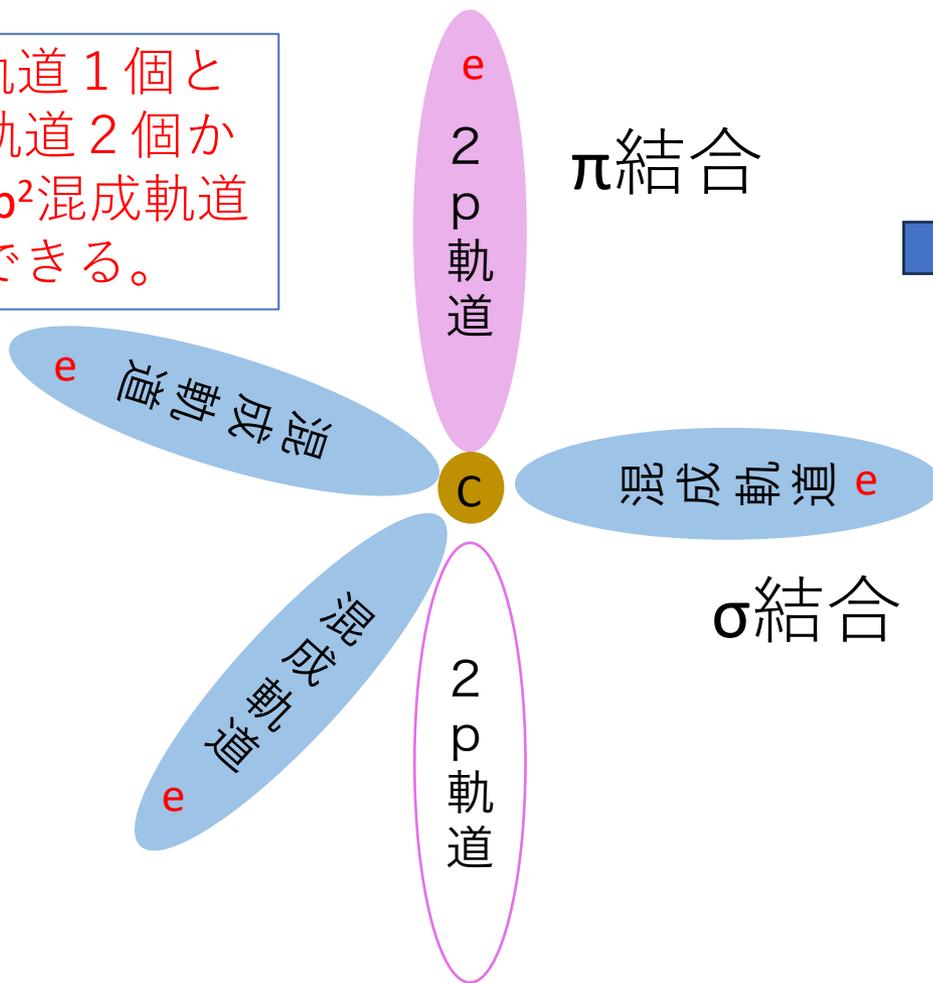
メタン

$\sigma$ 結合

混成軌道が作る  
共有結合のこと

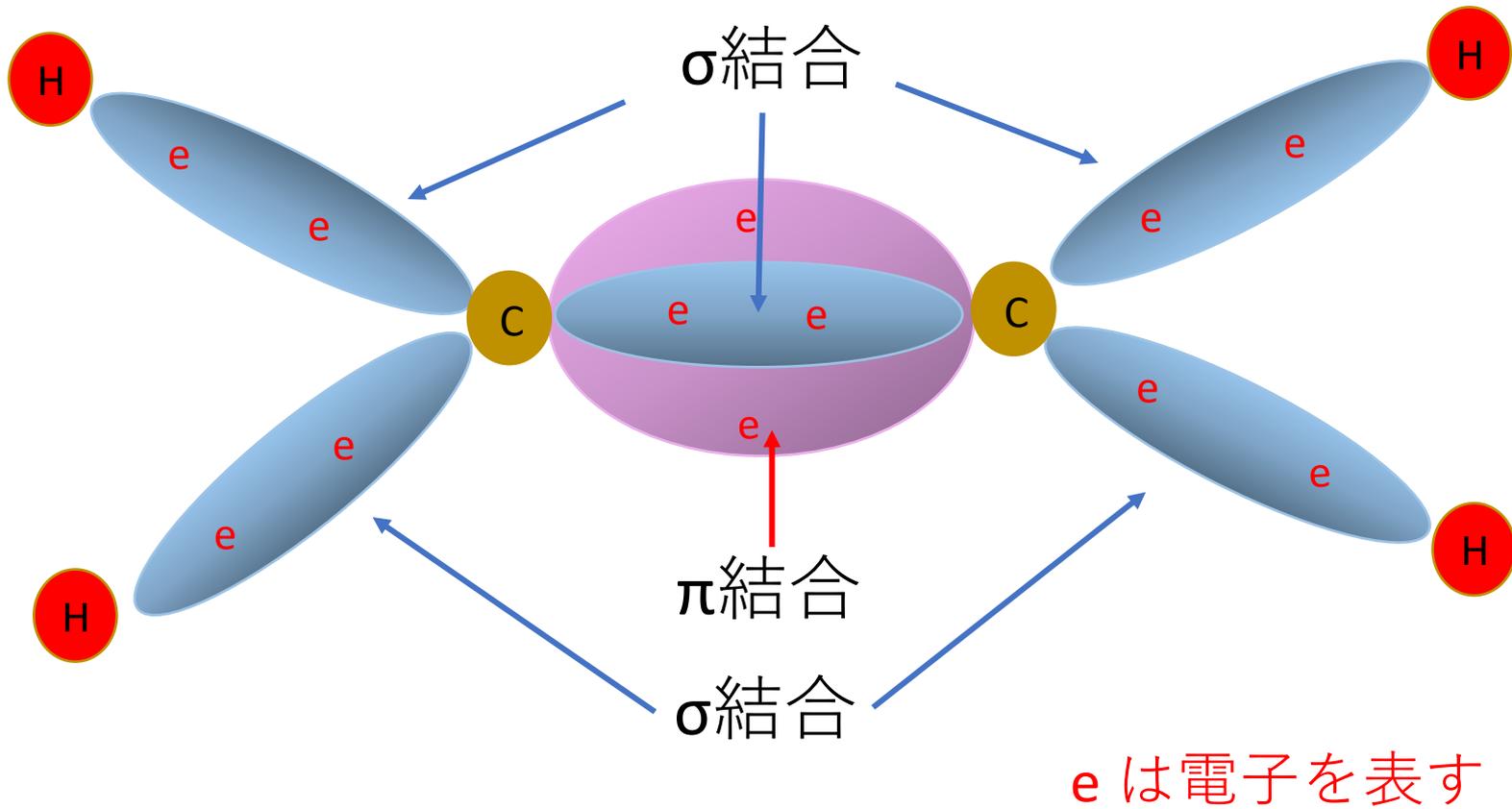
# 混成軌道の復習：sp<sup>2</sup>混成軌道

2s軌道 1個と  
2p軌道 2個か  
らsp<sup>2</sup>混成軌道  
ができる。



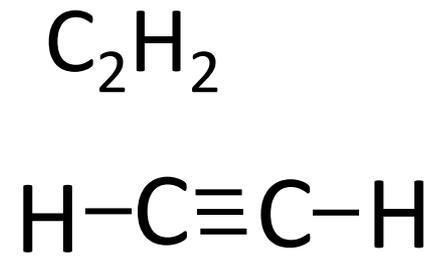
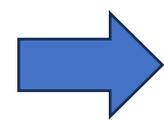
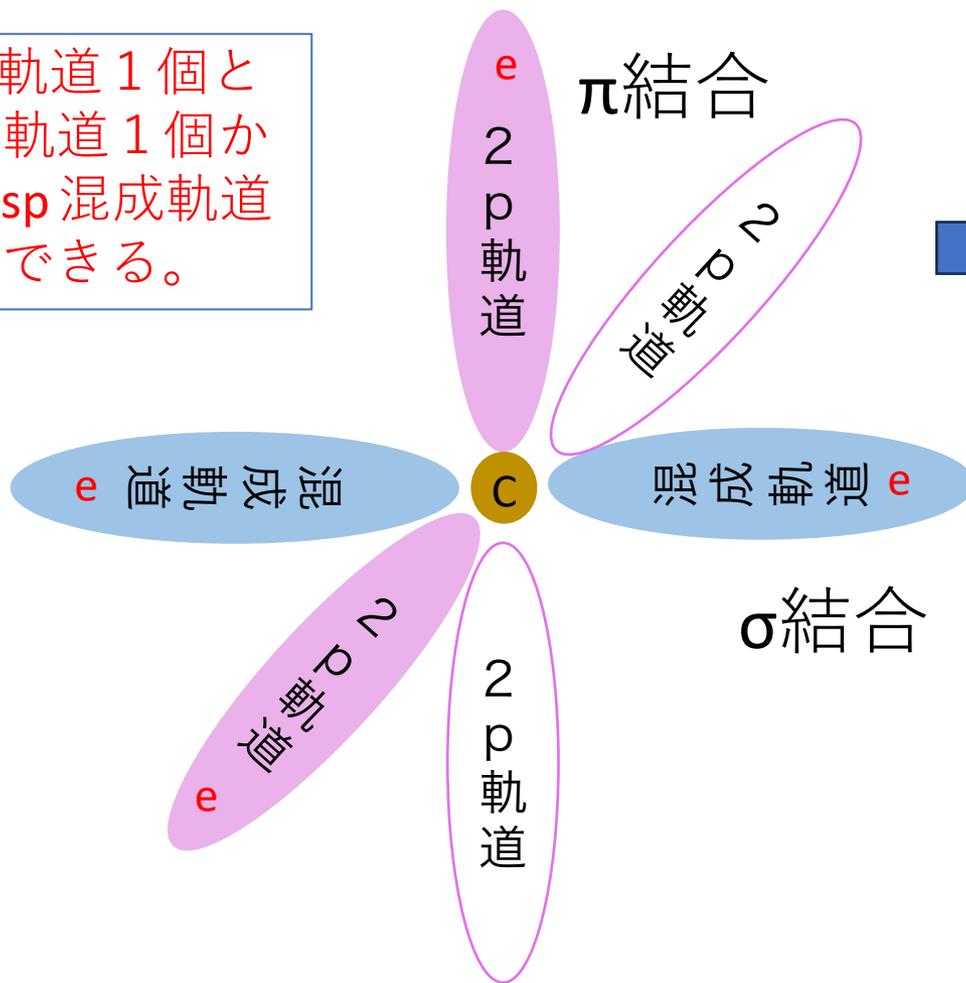
エチレン

# $\sigma$ 結合と $\pi$ 結合 エチレンの場合



# 混成軌道の復習：sp混成軌道

2s軌道 1個と  
2p軌道 1個か  
らsp混成軌道  
ができる。



アセチレン

# 第1章 物質の構造

## 第4節 化学結合と結晶

1. イオン間の結合
2. 共有結合
3. 配位結合 今日はこちら
4. 分子間力
5. 金属結合
6. アモルフォス

# 配位結合 p.68

- 一方の原子の非共有電子対が他方の原子に提供されてできる共有結合を、とくに配位結合という。
- アンモニアや水の分子の非共有電子対が、 $H^+$ に提供され共有されると、安定なアンモニウムイオン $NH_4^+$ や、オキソニウムイオン $H_3O^+$ ができる。

# 配位結合

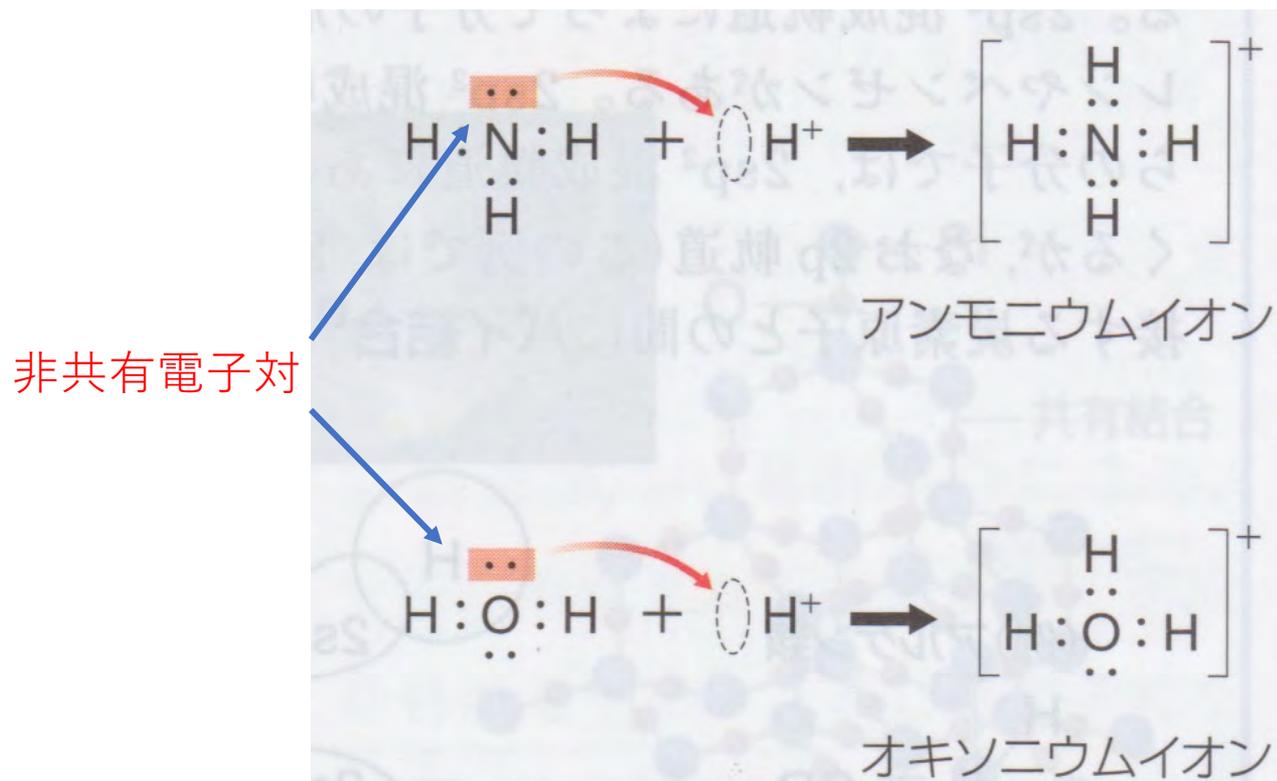


図 14 配位結合の生成

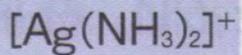
非共有電子対が他の原子・イオンの空の軌道にはまりこむ。

# 錯イオン p.68 下

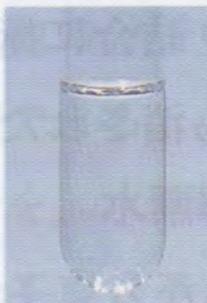
- 金属イオンに、非共有電子対をもつ分子または陰イオンが配位結合してできたイオンを錯イオンという。
- 配位する分子としては、 $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$
- 配位する陰イオンとしては、 $\text{CN}^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$  などがよく知られている。

# 錯イオン

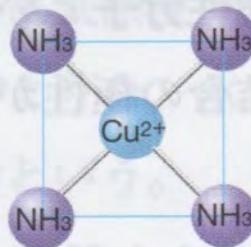
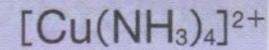
ジアンミン銀(I)イオン



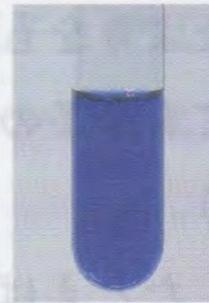
直線形  
(配位数2)



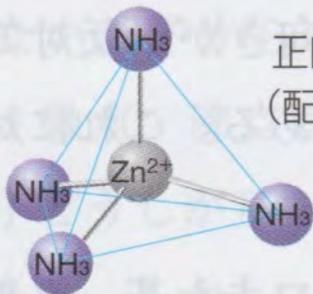
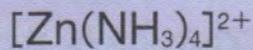
テトラアンミン銅(II)イオン



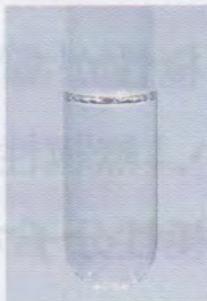
正方形  
(配位数4)



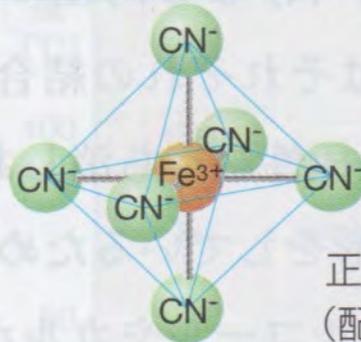
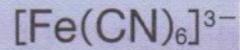
テトラアンミン亜鉛(II)イオン



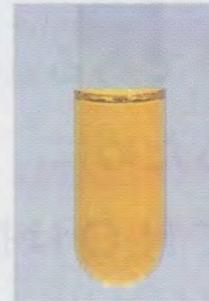
正四面体  
(配位数4)



ヘキサシアノ鉄(III)酸イオン



正八面体  
(配位数6)

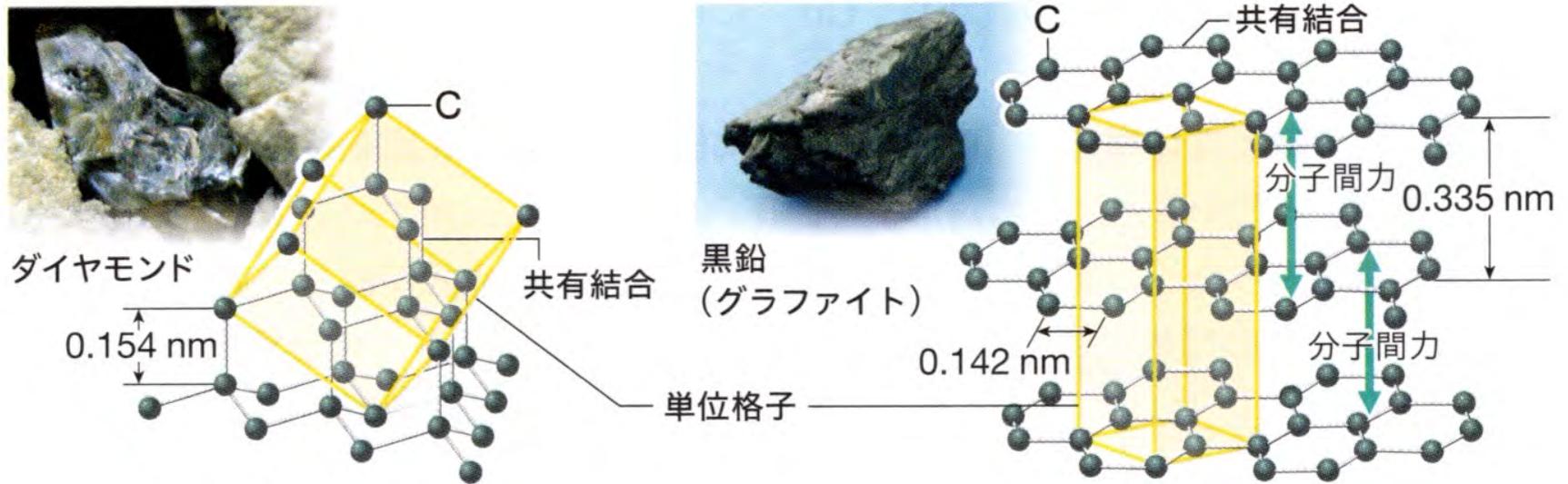


錯イオンの立体構造と色

# 共有結合の結晶 p.70- 71

- 共有結合によって原子が規則正しく配列してできた結晶を、共有結合の結晶という。
- ダイヤモンドと黒鉛の違いについて。
- ダイヤモンドは非常に硬く電気を通さない。
- 黒鉛はすべすべしてやわらかい。また、電気をよく通す。 何故か？
- p.70 図18 ダイヤモンドと黒鉛
- ダイヤモンドは正四面体の立体構造 ( $sp^3$ )、  
黒鉛は正六角形平面構造 ( $sp^2$ )

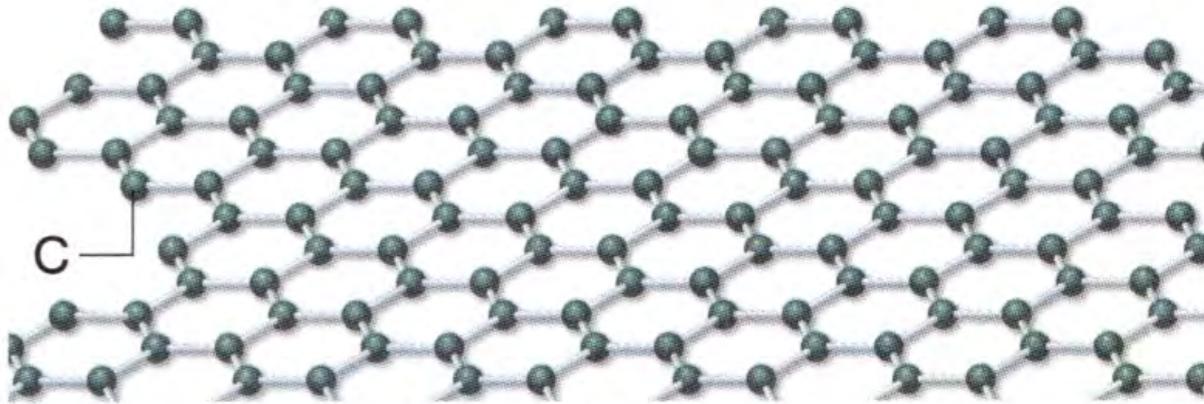
# ダイヤモンドと黒鉛の結晶



▲図18 ダイヤモンドと黒鉛

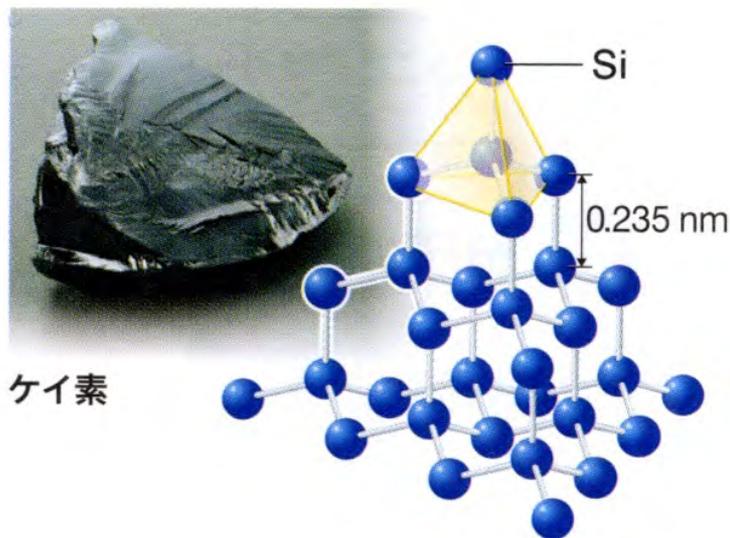
# グラフェン

黒鉛の層の1枚をグラフェンと呼ぶ。  
ほとんど透明。化学的に安定。電気をよく通す。



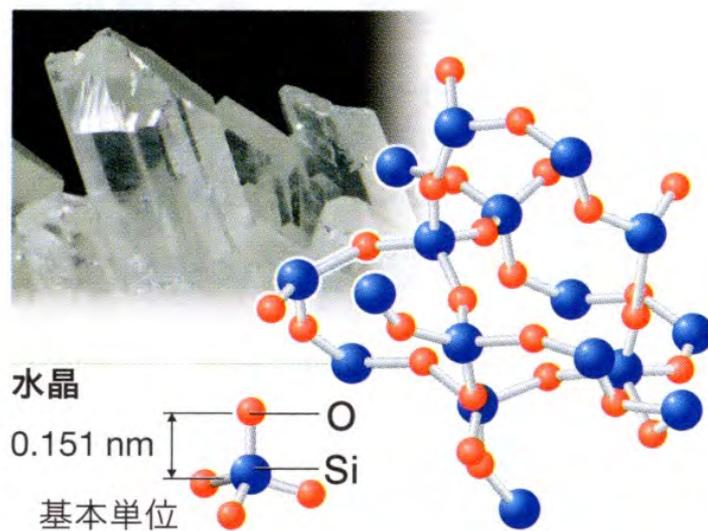
グラフェン・レイヤーの構造

# ケイ素と二酸化ケイ素の結晶構造



ケイ素

▲図19 ケイ素 Si の結晶構造



水晶

0.151 nm

基本単位

▲図20 二酸化ケイ素  $\text{SiO}_2$  の結晶構造

# 高純度なケイ素の結晶 太陽電池や集積回路に使われる

提供：株式会社SUMCO



シリコンウエハー

# 分子間力 p.72-

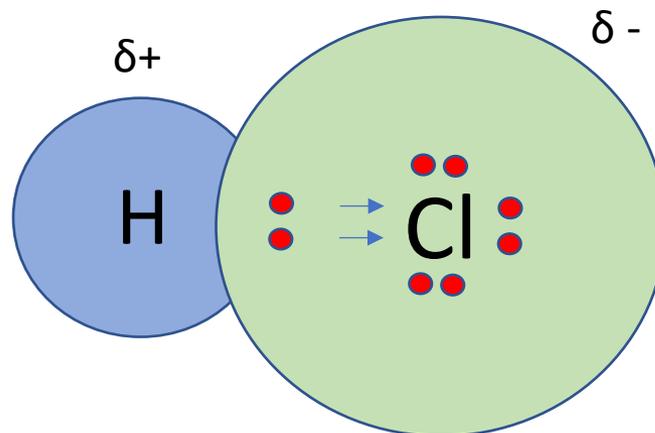
- A. 電気陰性度と極性
- B. 分子間力と水素結合
- C. 分子からなる結晶

# 結合の極性 p.72

電気陰性度の差が大きい2原子間の共有結合では、電気陰性度の大きい原子の方に共有電子対が引きつけられ、一方の原子にかたよって存在し、**電荷のかたより**を生じる。

これを**結合の極性**という。

例：図17 塩化水素分子



共有電子対が塩素原子の側に引き寄せられる。

# 電気陰性度 p.72-73

共有結合している原子間で、原子が共有電子対を引きよせる度合いを数値で示したものを電気陰性度という。値が大きいほど、共有電子対を引きよせる力が強い。

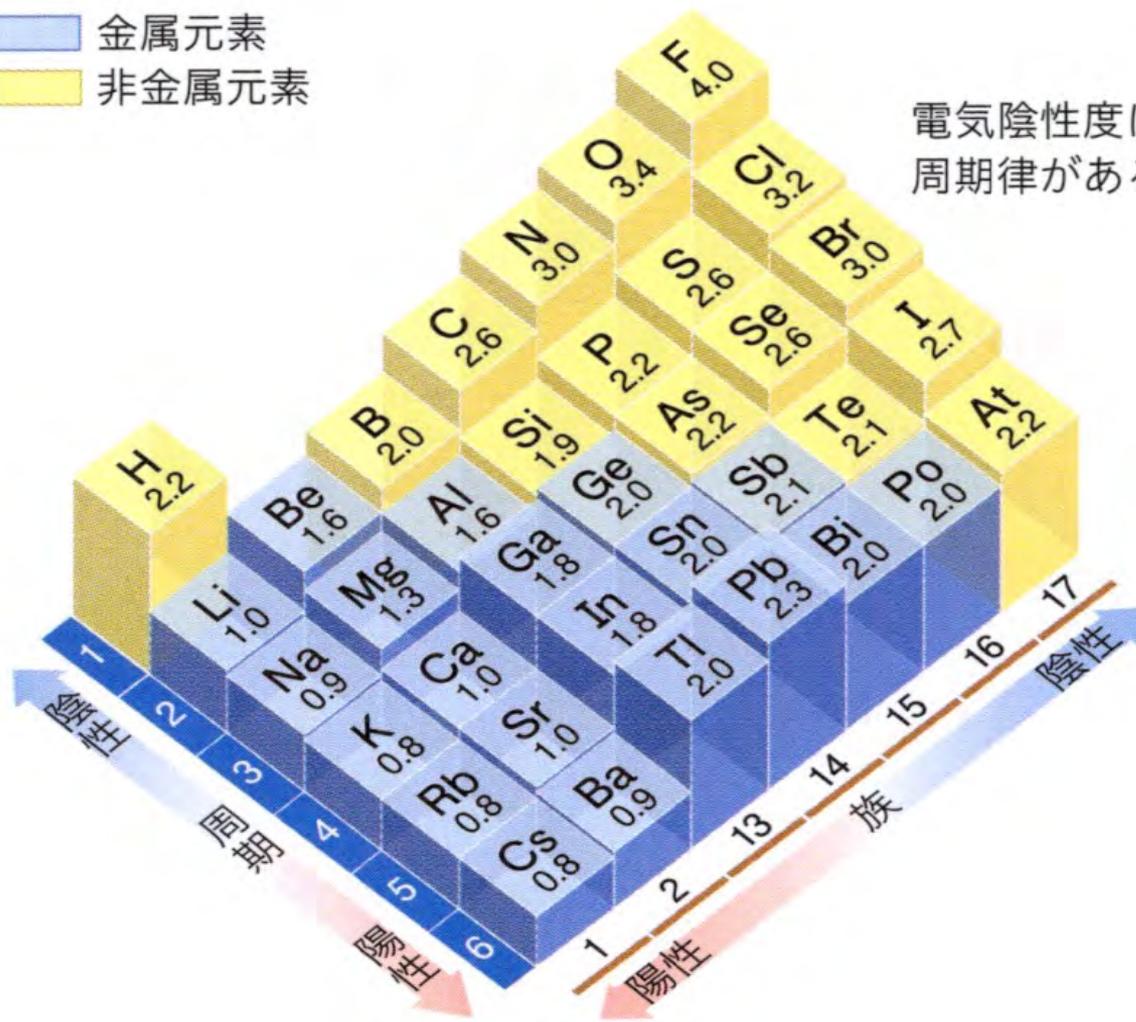
図21 元素の電気陰性度

および裏表紙見返し参照

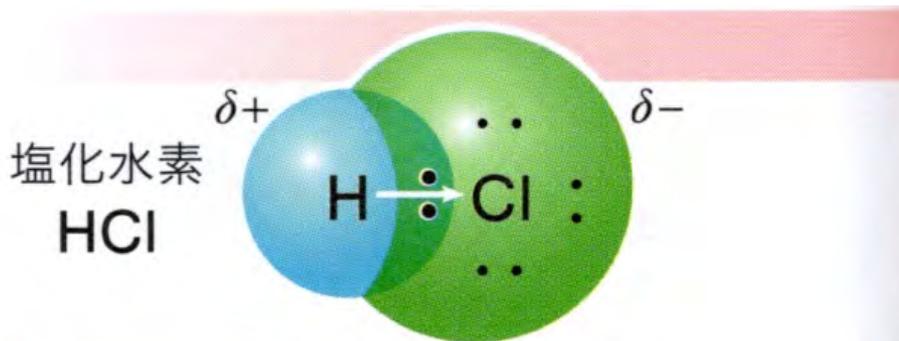
図21左 周期律表上の元素の電気陰性度

金属元素  
 非金属元素

電気陰性度にも  
周期律がある。

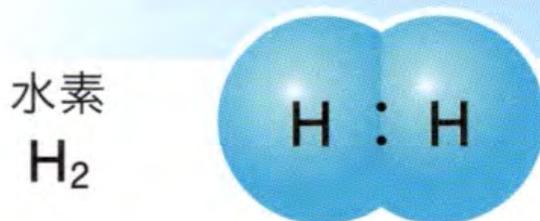


# 図21右 分子上の電子のかたより



電気陰性度      2.2      3.2

共有電子対は塩素原子の方へかたよるため，極性が生じる。



電気陰性度      2.2      2.2

共有電子対がどちらの原子核にもかたよらず，極性は生じない。

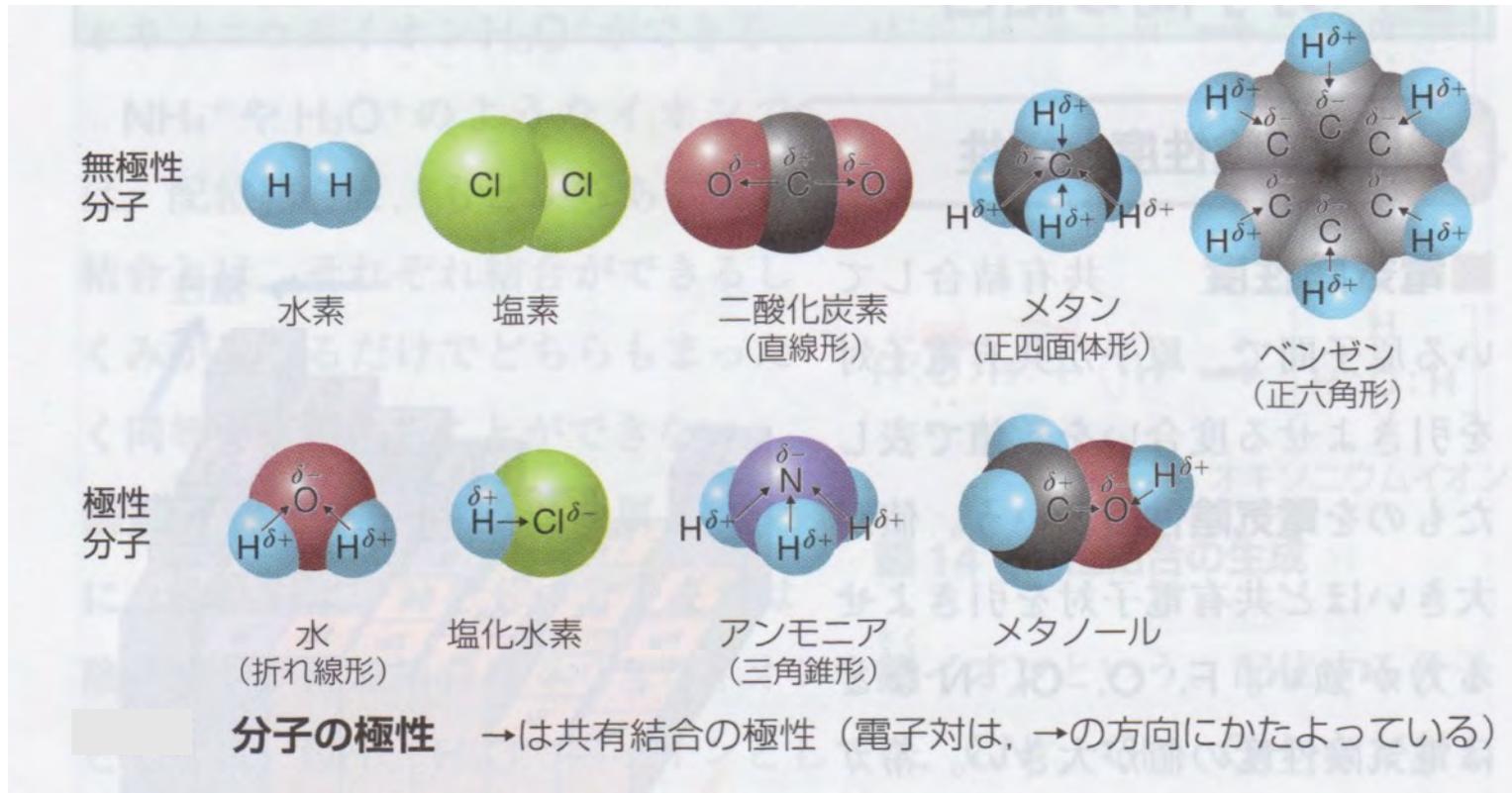
# 極性分子 p.73

結合に極性があるために、分子が全体として電荷のかたよりの持つ分子を極性分子という。

結合に極性がない、あるいはあっても分子の形から、結合の極性が打ち消された分子は、無極性分子という。

p. 73 図22 分子の極性 参照

# 分子の極性



# 分子からなる結晶 p.74

- 分子間力により分子が規則正しく配列してできた結晶を分子結晶という。
- ドライアイス  $\text{CO}_2$
- ナフタレン  $\text{C}_{10}\text{H}_8$
- ヨウ素  $\text{I}_2$
- 固体のアルゴン  $\text{Ar}$
- 固体の窒素  $\text{N}_2$

# 分子結晶の構造



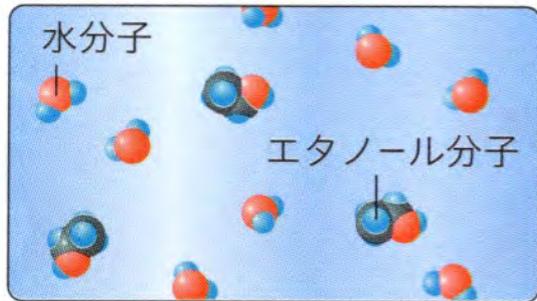
(線は分子の位置関係を示す)

▲図23 分子結晶の構造 ドライアイス、ヨウ素  $\text{I}_2$ 、ナフタレン  $\text{C}_{10}\text{H}_8$  は昇華しやすい分子結晶である。グルコース(ブドウ糖)  $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$ 、固体のアルゴン Ar や窒素  $\text{N}_2$  も分子結晶である。

# 分子間力と溶解しやすさ

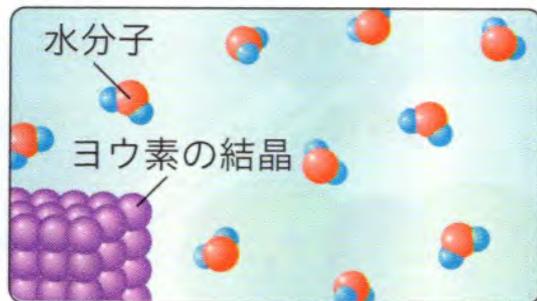
溶媒: 極性分子 水  $\text{H}_2\text{O}$   
溶質: 極性分子  
エタノール  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

エタノール分子中で極性をもつヒドロキシ基(-OH)と極性をもつ水分子は、電荷のかたよりによって引きあう。そのため、互いによく混じる。



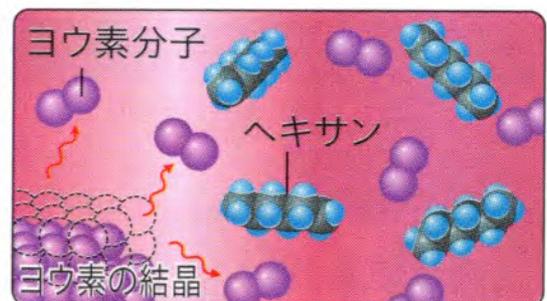
溶媒: 極性分子 水  $\text{H}_2\text{O}$   
溶質: 無極性分子  
ヨウ素  $\text{I}_2$

極性分子である水分子どうしは、電荷のかたよりによって引きあっている。そのため、無極性分子であるヨウ素は水分子間に入れない。



溶媒: 無極性分子  
ヘキサン  $\text{C}_6\text{H}_{14}$   
溶質: 無極性分子 ヨウ素  $\text{I}_2$

無極性分子であるヘキサンとヨウ素は電荷のかたよりが無い。そのため、分子の熱運動で互によく混じる。



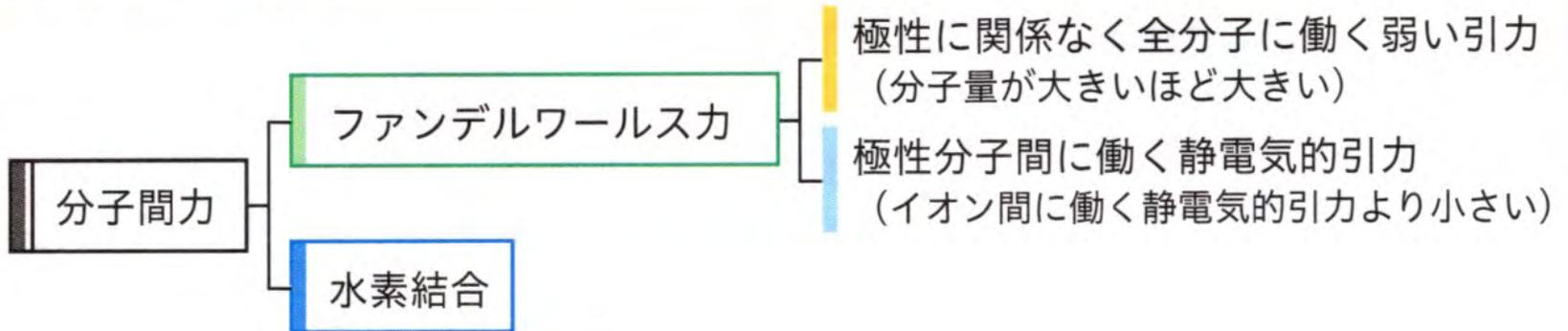
# 分子間力と溶解しやすさ

p.74 参考

	組み合わせ 1	組み合わせ 2	組み合わせ 3
溶媒	極性分子	極性分子	無極性分子
例	H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O	ヘキサン
溶質	極性分子	無極性分子	無極性分子
例	エタノール	ヨウ素	ヨウ素
溶けやすさ	よく溶ける	溶け合わない	よく溶ける

# 分子間力の分類

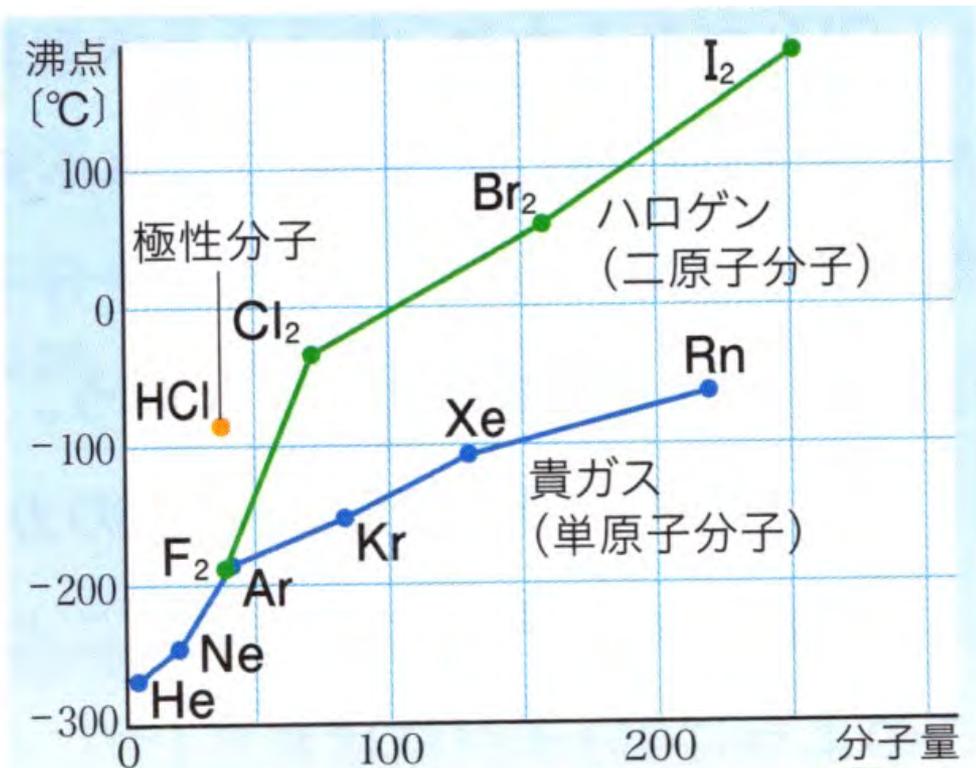
## ● 分子間力の分類



# ファンデルワールス力 p.75

- $\text{N}_2$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{Ar}$  などの無極性分子どうしには非常に弱い引力が働く。このような力をファンデルワールス力という。このような分子間に働く弱い力を分子間力という。
- 分子間力は、イオン結合、共有結合の力よりもはるかに弱い。
- また、極性分子の場合には、分子間に静電的な引力が働くため、分子間力はさらに強くなる。

# 分子間力と沸点



▲図24 分子間力と沸点 (出典:化学便覧 改訂5版)

# 水素結合 p.75 下

**HF, H<sub>2</sub>O, NH<sub>3</sub>** のように、電気陰性度の大きい原子に結合した**水素原子**は、他の分子中の**電気陰性度の大きい原子**と結ばれて、結合を作ることができる。

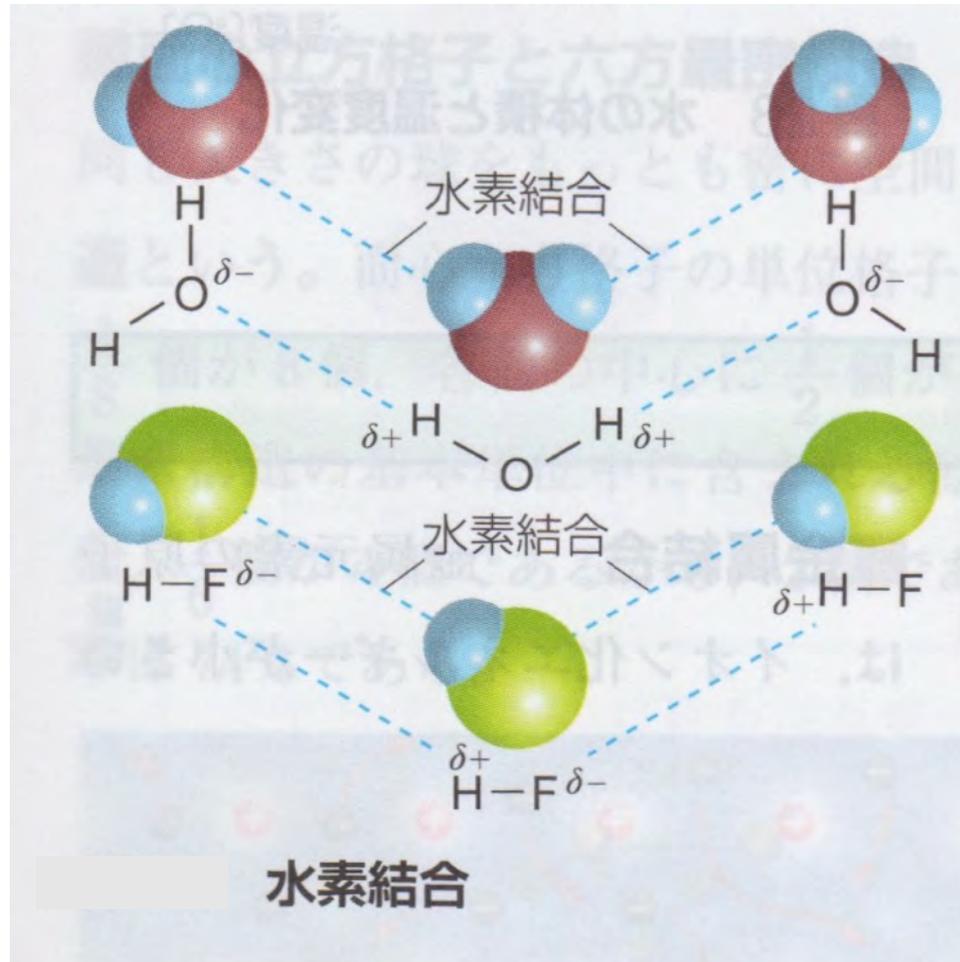
このような、水素原子をなかだちとして、分子間にできる結合を、**水素結合**という。

**水素結合**は、イオン結合や共有結合よりもはるかに**弱く切れやすい**。

図28 水素化合物の沸点 参照

# 水素結合

他にも図25, 26, 27参照

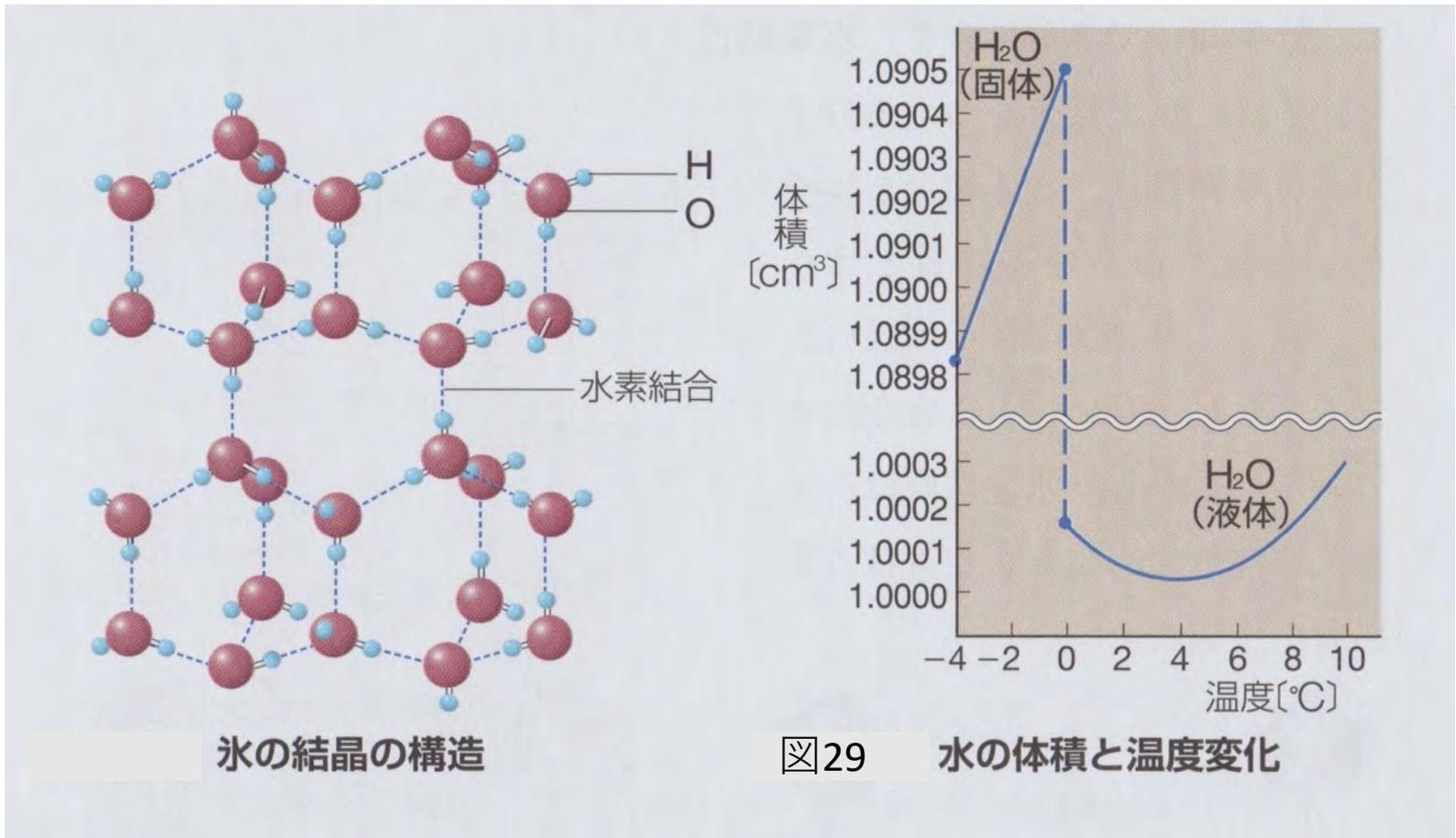




# 氷の結晶構造 p.76参考

- 氷の結晶は、水素結合に都合の良い位置に水分子がおさまり、ダイヤモンドの結晶に似た隙間の多い構造をもつ。
- 0℃で氷が水になるとき、結晶の規則的な分子の配列が崩れ、すきまに水分子が入りこみ、体積が減少する。

# 氷の結晶構造 氷の体積と温度変化



# 金属原子間の結合 p.80 -

A. 金属結合

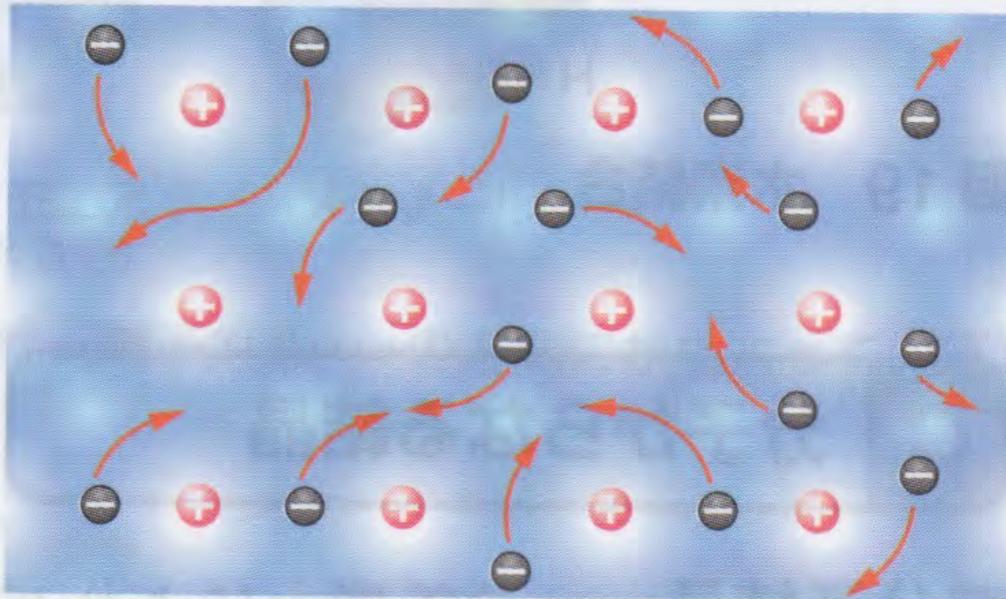
B. 金属の結晶

C. 金属の特徴

# 金属結合 p.80

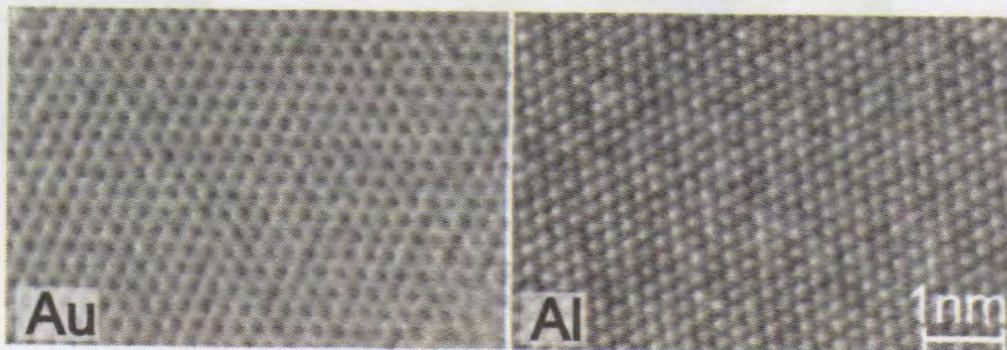
- 金属元素の原子はイオン化エネルギーが小さいので、電子を放出して陽イオンになりやすい。
- 金属原子の価電子は、離れやすく、特定の原子に固定されず、金属全体を自由に移動できる。
- このような電子を自由電子という。
- 自由電子がすべての金属原子に共有されてできる結合を金属結合という。

# 金属結合



●は自由電子を表し、金属全体を移動する。

図30 金属結合と自由電子



金属の電子顕微鏡写真<sup>1)</sup>

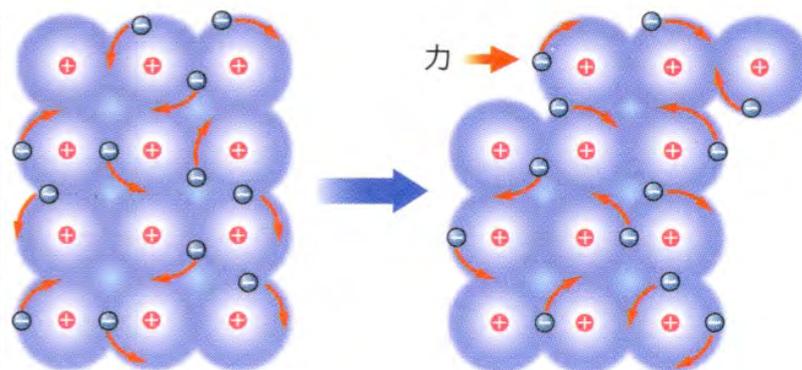
# 金属結晶 p.80中

- 金属の結晶は、金属原子が金属結合によって、規則正しく整列して結晶格子の構造になっている。
- 金属の結晶は、物質全体にわたり分子が存在しないため、金属を化学式で表すときは、Na, Alのように、組成式を用いる。

# 金属の性質 p.80 中

- ① 金属光沢がある。
  - ② 熱伝導性・電気伝導性が大きい。
  - ③ 展性や延性を示す。
  - ④ 合金を作ることができる (p.81) 。
- 2種類以上の金属を溶かし合わせるか、金属に非金属を溶かし込んだものを合金という。
  - 合金はもとの金属に無い優れた性質を持つようになる。

# 金属の性質 展性と延性



# 合金

p.81参照

- 合金とその利用例 p. 81 表 5 参照
- 合金の構造による分類 p. 81 参考記事

## 結晶性合金

a. 置換型固溶体 (黄銅など)

b. 侵入型固溶体 (鋼など)

c. 金属間化合物

(形状記憶型合金、水素吸蔵合金、超伝導合金など)

アモルフォス合金 (異なる金属が不規則に配列。

非晶質で、耐食性があり、強度が高い。)

# 合金とその利用例

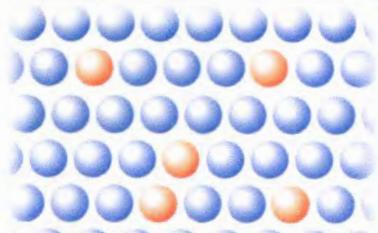
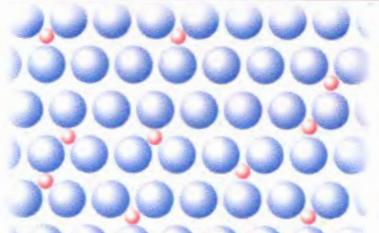
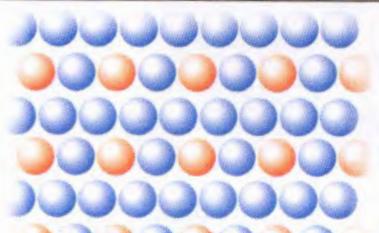
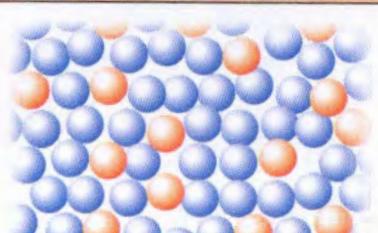
▼表 5 合金とその利用例

合金	成分(下線は主成分)	性質	利用例
ジュラルミン	<u>Al</u> -Cu-Mg-Mn	軽くて強度が高く、加工性に優れる。	航空機、鉄道車両、 ノートパソコンの本体
チタン合金	<u>Ti</u> -Al-V	比較的軽量で、強度があり、耐食性にも優れる。人体に無害である。	航空機や車体フレーム、 人工骨、人工関節
鋼	<u>Fe</u> -C	純鉄に比べて強度が高く、加工性、耐酸化性に優れる。	建築物、橋梁、 自動車のフレーム
ステンレス鋼	<u>Fe</u> -Cr-Ni-C	鋼よりさびにくく、薬品に強い。	流し台、包丁、鉄道車両
ニクロム	<u>Ni</u> -Cr	高温や薬品に強い。電気抵抗が大きく電気を流すと発熱する。	電熱器、ドライヤー
<small>せいどう</small> 青銅(ブロンズ)	<u>Cu</u> -Sn	鋳物にしやすく、耐食性があり美しい。	銅像や釣り鐘などの美術 工芸品

# 合金とその利用例

黄銅(真ちゅう)	<u>Cu-Zn</u>	美しいだけでなく、丈夫でさびにくく、加工性がよい。	装飾品, 金管楽器, 硬貨, ファスナー
形状記憶合金	<u>Ti-Ni</u> (組成は TiNi)	強度や耐食性に優れ, 変形しても加熱や冷却によって元の形に戻る。	メガネや自転車のフレーム, 温度センサー
水素吸蔵合金	<u>Ni-La</u> (組成はLaNi <sub>5</sub> )	熱や圧力の変化で水素を吸収・放出できる。	ニッケル水素電池の負極
超伝導合金	<u>Nb-Sn</u> (組成はNb <sub>3</sub> Sn)	ある温度以下で電気抵抗が0になる。	MRI(核磁気共鳴画像法)用マグネット
アモルファス合金	<u>Fe-Si-B</u> <u>Fe-Cr-P-C</u> など	非晶質で, 耐食性があり, 強度が高い。	小型モーターギア, スポーツ用品

# 合金の構造による分類 図

結晶性合金			アモルファス合金
 <p>置換型固溶体</p>	 <p>侵入型固溶体</p>	 <p>金属間化合物</p>	
金属原子の位置に他の原子が不規則に置き換わっている。	金属の結晶格子のすき間に、小さい原子が入り込んでいる。	異なる金属が一定の比率で、規則的に整列している。	異なる金属が不規則に配列している。

# 金属の結晶格子 p.82 図31

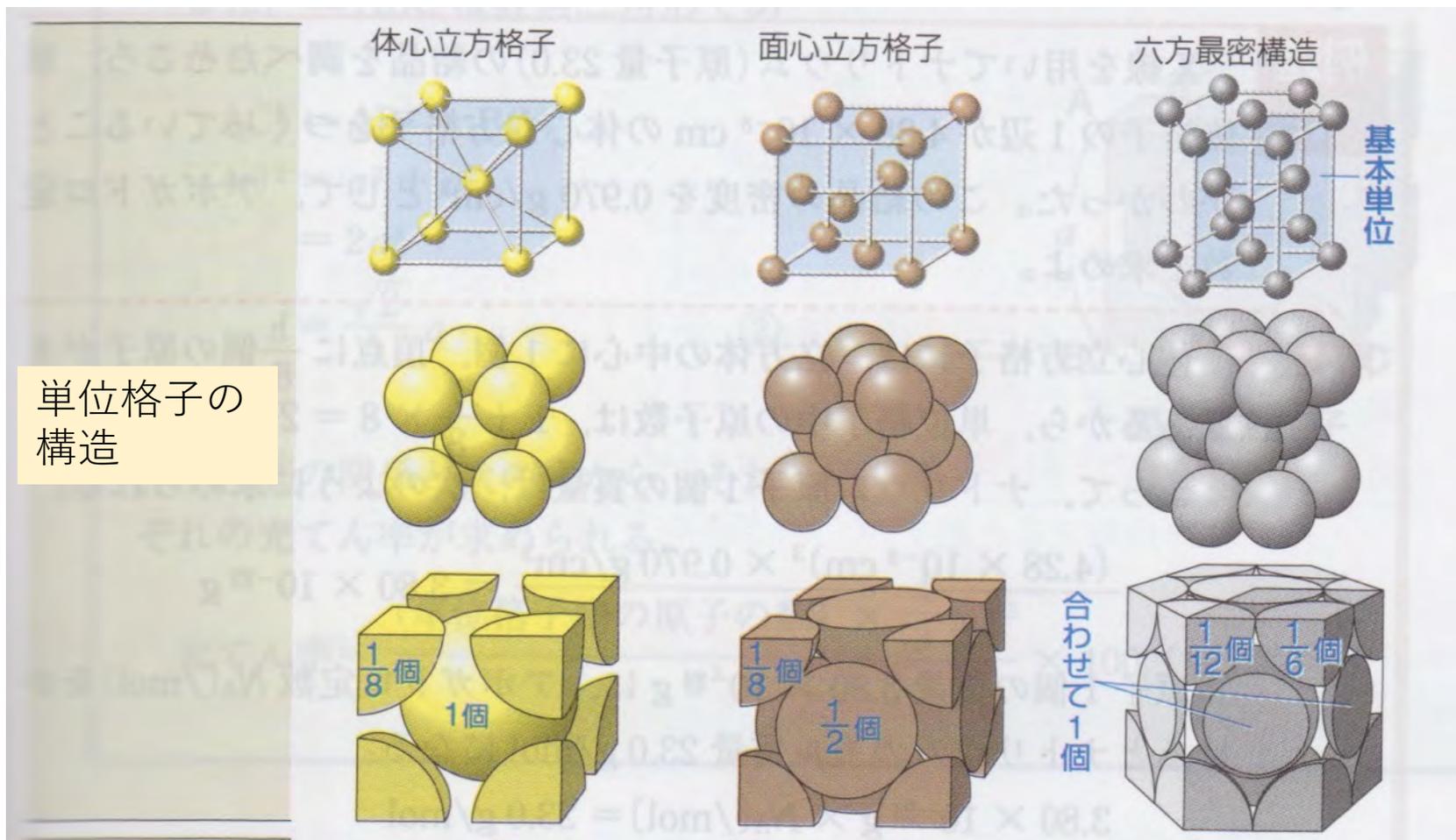
金属の結晶格子は、

- ① 体心立方格子
- ② 面心立方格子
- ③ 六方細密構造

のいずれかである（次ページ図31）。

これらの結晶格子の構造の詳細については、  
p.84-85の文章（参考記事）を参照してください。

# 金属の結晶格子 p.82 図31



# 結晶の種類と性質（まとめ）

結晶は、結晶を構成している粒子の結合の種類により、

- ① 金属の結晶
- ② イオン結晶
- ③ 分子結晶
- ④ 共有結合の結晶

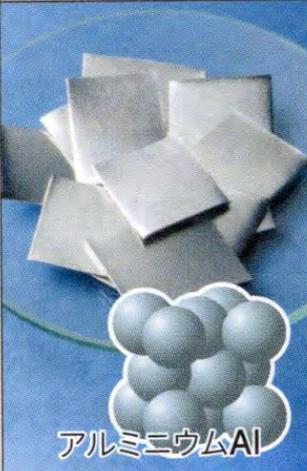
に分類できる。

これらの特徴については、

p.88 表1 結晶の種類と性質 を参照してください。

# さまざまな結晶

▼表1 さまざまな結晶

	金属結晶	イオン結晶	分子結晶	共有結合の結晶
結晶例	 <p>アルミニウムAl</p>	 <p>塩化ナトリウムNaCl</p>	 <p>ドライアイスCO<sub>2</sub></p>	 <p>ダイヤモンドC</p>
構成粒子	金属原子 (自由電子を含む)	陽イオンと 陰イオン	分子	非金属原子

# 結晶の種類と性質

	イオン結晶	分子結晶	共有結合結晶	金属結晶
構成粒子	陽・陰イオン	分子	原子	金属原子と自由電子
粒子間の結合	電気的な引力	分子間力	共有電子対	自由電子
一般的な性質	極めてかたく 融点・沸点も 高い。もろく へき開する。	やわらかく融 点、沸点が低 い。昇華しや すい。	極めてかたく 融点も極めて 高い。	延性・展性が あり、熱伝導 性が大きい。 融点が高い。
	固体状態では 電気を通さな いが、融解状 態では通す。	固体は電気を 通さない。融 解しても電気 を通さない。	水に溶けにく く電気を通さ ない。黒鉛は 電気を通す。	金属光沢があ る。電気伝導 性がよい。
物質の種類	金属元素と非 金属元素から なる。	非金属元素の 単体または化 合物。	原子価の多い 非金属元素 (C やSi)	金属元素の単 体または混合 物 (合金)。
物質の例	NaCl, Na <sub>2</sub> CO <sub>3</sub> , Al <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 、他多 数。	ヨウ素、ナフ タレン、ドラ イアイス	ダイヤモンド、 黒鉛、水晶、 シリコン	銅、金、鉄、 他多数。

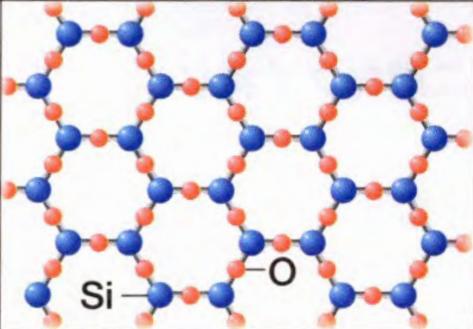
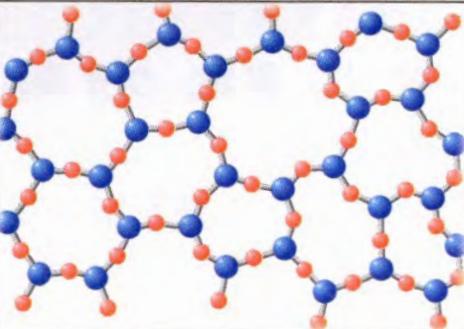
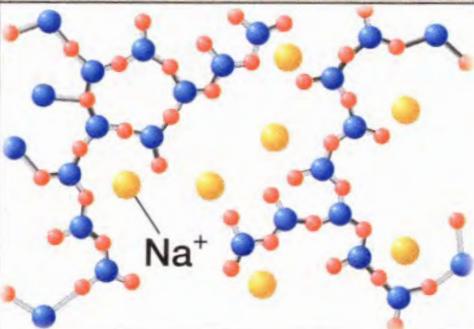
# アモルフォス（非晶質） p.88

- 固体を形成する粒子の配列に規則性がみられず無秩序なものを一般にアモルフォス（非晶質）という。
- 英語：amorphous 無定形の、非結晶質の  
例：
  - ガラス（石英ガラス、ソーダ石灰ガラス）
  - 土壌中の粘土鉱物のうち、アロフェンなど。

液晶は液体だろうか、それとも結晶だろうか？

# 結晶質と非晶質の例

▼表 6 結晶質と非晶質の例

種類	結晶(結晶質の固体)	アモルファス(非晶質)固体	
例	石英	石英ガラス	ソーダ石灰ガラス
構造			
おもな組成	$\text{SiO}_2$	$\text{SiO}_2$	$\text{Na}_2\text{O}-\text{CaO}-\text{SiO}_2$

# 地球の構造と化学組成 (参考)

半径 (km)	主要元素成分	状態	化学結合の主形態
内核 (1222)	Fe	固体	金属結合
外核 (3480)	Fe	液体	金属結合
マントル (6350)	Mg, Si, O	固体	イオン結合
地殻 (6371)	Si, Al, Ca, O	固体	イオン結合
海洋 (6371)	H, O	液体	水素結合
大気 (>6371)	N, O	気体	共有結合
参考：人体	O, C, H, N	液体, 固体	イオン結合, 共有結合
参考：宇宙	H, He	気体	分子間力

# 5月中下旬の畜大キャンパスの花

クロユリ



サクラソウ



エゾムラサキ



タチツボ  
スミレ



ツボスミレ



カキドオシ



# 出席確認メールのお願い

出席確認のため、**授業終了後、当日中に**筒木宛にメールを送ってください。送り先は；

[kiyosi.tutuki@icloud.com](mailto:kiyosi.tutuki@icloud.com)

メールのタイトルは、「**入門化学出席確認、学籍番号、氏名**」としてください。

メールの本文には、簡単で良いので**授業の感想**などを書いてください。

別途、**課題**を出すことがあります。その際は、**別のメール**で送ってください。課題の締め切りは概ね1週間程度とします。

# 5月15日課題

イオン結晶および共有結合の結晶について、その特徴と例を文章で説明しなさい。

締め切り：5月20日（月）