

# 入門化学04

## イオン結合・共有結合



芽室町の畑 2021.5.4 (古砂丘地形)

前回（5月1日）の課題  
学生さんからの解答例（良い例）

(1) ドライアイス分子量  $12+16 \times 2=44$

$$x \text{ mol} = 100\text{g} \div 44\text{g/mol} = 2.2727 \cdot \cdot \cdot$$

答え 2.27 mol

(2) 硫酸アンモニウムの化学式  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$

$$\text{式量} (14.01 + 1.008 \times 4) \times 2 + 32.07 + 16 \times 4 = 132.154$$

答え 132.154

良い点 簡単な説明が添えてある。  
単位が付記してある。

# 世界の人口とアボガドロ数

- 世界の人口 = 80 億人 =  $8.0 \times 10^9$  人
- アボガドロ数 =  $6.02 \times 10^{23}$
- 世界の人口 / アボガドロ数 =  $1.33 \times 10^{-14}$   
→ 13.3 f (フェムト) 倍
- 国際単位系(SI) の接頭語 (小さな数)

ミリ	マイクロ	ナノ	ピコ	フェムト
m	$\mu$	n	p	f
$10^{-3}$	$10^{-6}$	$10^{-9}$	$10^{-12}$	$10^{-15}$

# アボガドロ数と世界の人口

- 世界の人口 = 80 億人 =  $8.0 \times 10^9$  人
- アボガドロ数 =  $6.02 \times 10^{23}$
- アボガドロ数 / 世界の人口 =  $7.53 \times 10^{13}$   
→ 75.3 T (テラ) 倍
- 国際単位系(SI) の接頭語 (大きな数)

テラ	ギガ	メガ	キロ	ヘクト
T	G	M	k	h
$10^{12}$	$10^9$	$10^6$	$10^3$	$10^2$

# 第1章 物質の構造

## 第3節 物質量と化学反応式

## 第4節 化学結合と結晶

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

# 第4節 化学結合と結晶

1. イオン間の結合
2. 共有結合
3. 分子間力
4. 金属結合

# 復習：イオンのできかた。 p.28

- 最外殻の軌道に電子が1個ないし2個だけ入っているとき、これらの電子は他の原子に放出されて、1価ないし2価の陽イオンになる。
- 最外殻の軌道が電子で満たされておらず、1個ないし2個だけ不足している場合は、他の原子から電子を受け取って、1価ないし2価の陰イオンになる。
- イオンの電子配置は、直近の貴ガスの電子配置と等しい。貴ガスの電子配置は安定なため。

# イオンのできかた

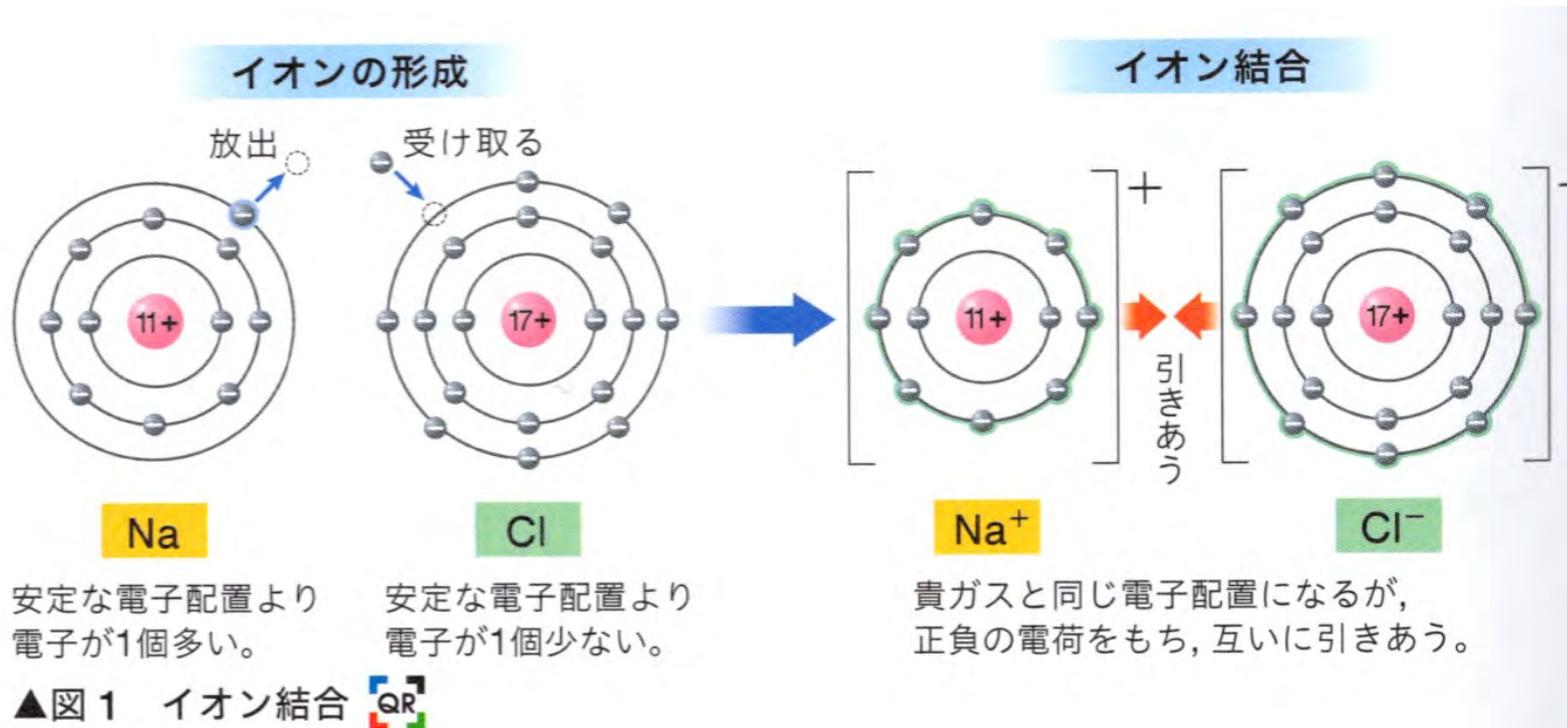
- 陽性の強い（イオン化エネルギーが小さい）元素（金属元素）は電子を放出して陽イオンとなり、
- 陰性の強い（電子親和力が大きい）元素（非金属元素）は電子を受け取って陰イオンとなる。
- それぞれ**貴ガス型電子配置**のイオンとなって安定化する。

# イオン結合 p. 52

- 陽イオンと陰イオンが静電的な力（クーロン力）によって引き合ってできる結合をイオン結合という。

# イオンの形成と結合

p.52 図 1



1価の陽イオン  
になりやすい。 2価の陽イオン  
になりやすい。

1価の陰イオン  
になりやすい。

族	1	2	13	14	15	16	17	18
1 最外殻 K殻	1H							2He
2 最外殻 L殻	3Li	4Be	5B	6C	7N	8O	9F	10Ne
3 最外殻 M殻	11Na	12Mg	13Al	14Si	15P	16S	17Cl	18Ar
4 最外殻 N殻	19K	20Ca					35Br	36Kr
価電子	1	2	3	4	5	6	7	0

原子模型の中心は原子核、円は電子殻、最外殻の青い点は価電子を表している。

図 10 原子とその価電子の数

▲ 金属元素 ▲ 非金属元素

原子とその価電子の数

貴ガス原子  
安定な電子配置

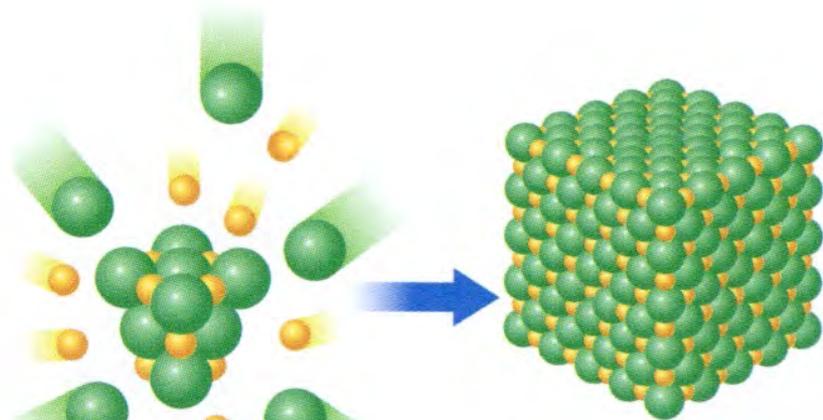
# 結晶格子と単位格子 p.52-53

- 結晶中の規則正しい粒子の配列を結晶格子とい  
い、結晶格子の最小の繰り返し単位を単位格子  
という。
- イオン結合でできた結晶をイオン結晶という。

# イオン結晶 p.53 図 4

- 固体の塩化ナトリウムの場合、1個のナトリウムイオンのまわりに6個の塩化物イオンがイオン結合で結ばれて存在し、1個の塩化物イオンのまわりに6個のナトリウムイオンがイオン結合で結ばれて存在する。
- 1個の粒子に隣接する他の粒子の数を配位数という。

# イオン結晶の形成



塩化ナトリウム  
NaClの結晶



多数の陽イオン●と陰イオン●  
が集まって、規則正しく配列する。

▲図3 イオン結晶

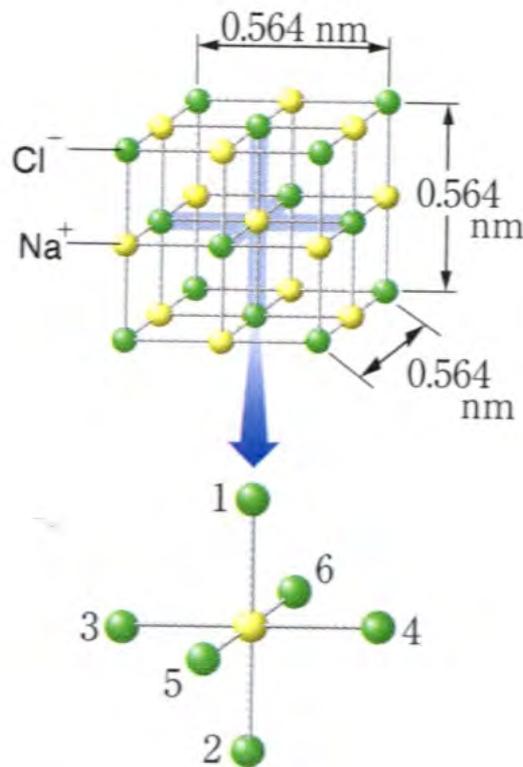
NaCl の単位格子  
と配位数 (=6)

単位格子内のNa<sup>+</sup>  
の数 (=4)

$$\frac{1}{4} \times 12 + 1 = 4$$

単位格子内のCl<sup>-</sup>  
の数 (=4)

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



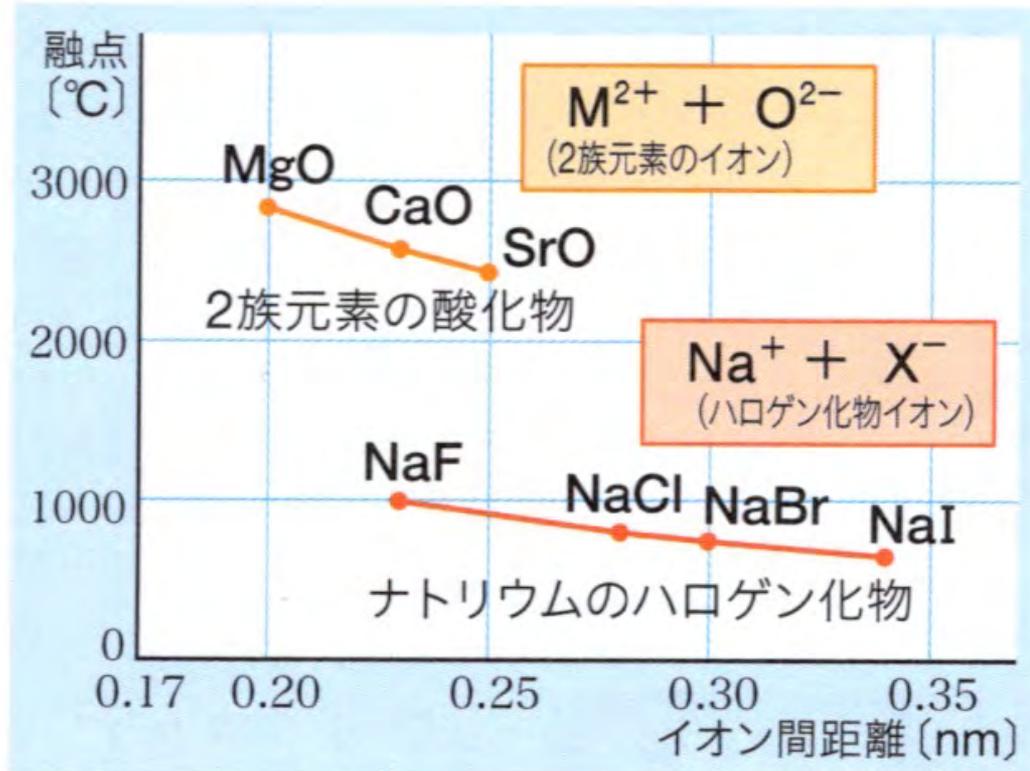
中心のNa<sup>+</sup>のもっとも近くにある  
Cl<sup>-</sup>は6個である。

▲図4 NaClの単位格子と配位数

# イオン結晶の性質 p.53 下 図5

- **イオン結晶**は、融点・沸点が高く、かたくてもろい。
- 固体の状態では、電子が移動できないため、**電気を通さない**。
- **液体**の状態では、イオンが自由に移動できるため、**電気がよく通る**。
- **水に溶かした水溶液**では、イオンが自由に移動できるため、**電気を通しやすい**。

# イオン結晶の融点



陽イオンと陰イオンの電荷の積が大きいほど、イオン間の距離が小さいほど、融点が高くなる。

▲図5 イオン結晶の融点

# 融解してできた液体や水溶液は電気を通す

- 物質が水に溶けてイオンに分かれることを電離といい、電離する物質を電解質という。

例：塩化ナトリウム

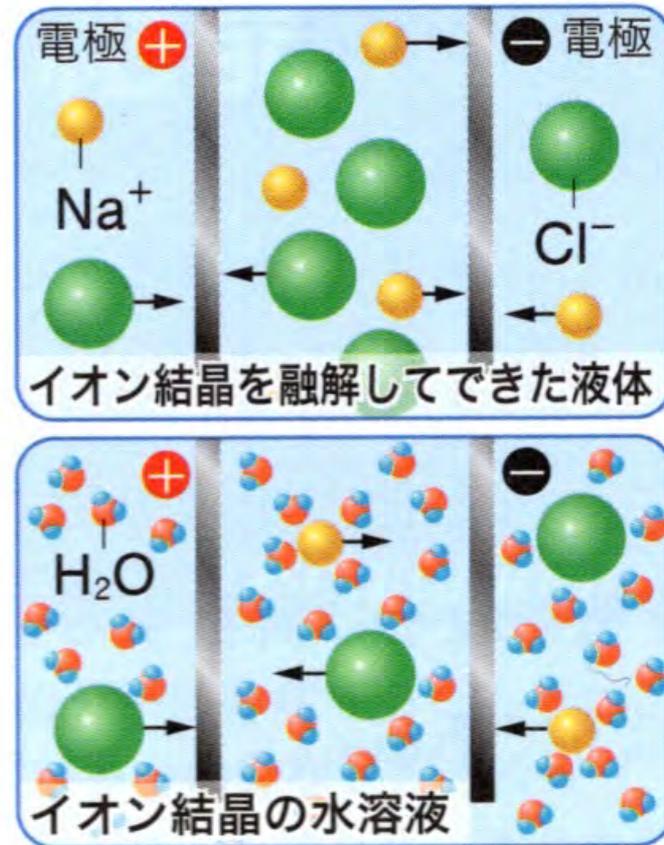
硫酸アンモニウム

- 水に溶けても電離せず分子のままている物質を非電解質という。

例：ショ糖（スクロース）、

ブドウ糖（グルコース）

# イオン結晶の 電気伝導性

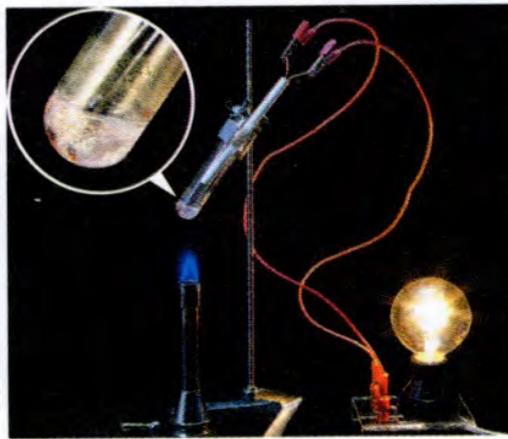


▲図6 イオン結晶の伝導性  
融解して液体になったり、水溶液になったりすると、イオンが自由に移動できるようになる。

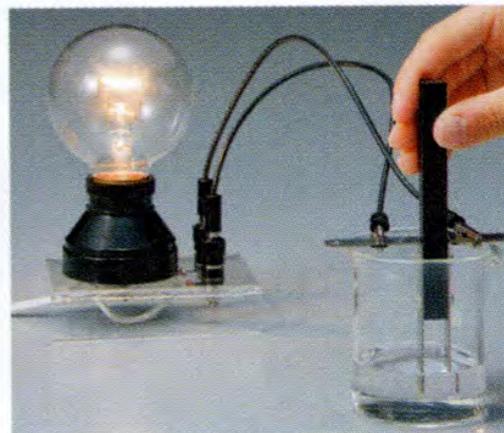
# イオン結晶の電気伝導性



固体の NaCl



液体の NaCl



NaCl 水溶液

▲図 7 イオン結晶の電気伝導性

# イオンでできている化合物の例と組成式

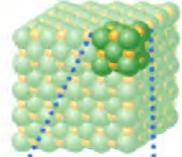
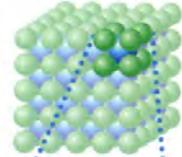
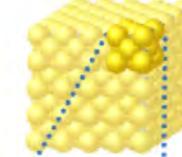
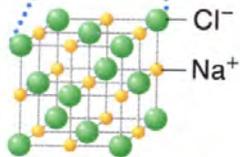
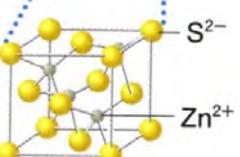
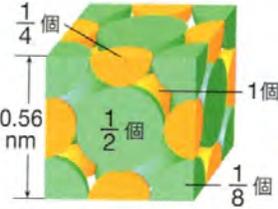
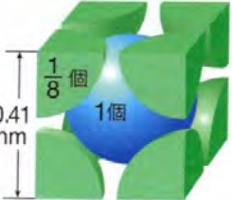
▼表1 イオンでできている化合物の例と組成式

化合物名	組成式	構成イオン		
		陽イオン (価数)	陰イオン (価数)	個数比(陽：陰)
塩化カリウム	KCl	$K^+$ (1価)	$Cl^-$ (1価)	1 : 1
水酸化ナトリウム	NaOH	$Na^+$ (1価)	$OH^-$ (1価)	1 : 1
炭酸カルシウム	$CaCO_3$	$Ca^{2+}$ (2価)	$CO_3^{2-}$ (2価)	1 : 1
塩化カルシウム	$CaCl_2$	$Ca^{2+}$ (2価)	$Cl^-$ (1価)	1 : 2
硫酸ナトリウム	$Na_2SO_4$	$Na^+$ (1価)	$SO_4^{2-}$ (2価)	2 : 1
硫化ナトリウム	$Na_2S$	$Na^+$ (1価)	$S^{2-}$ (2価)	2 : 1
硫酸アンモニウム	$(NH_4)_2SO_4$	$NH_4^+$ (1価)	$SO_4^{2-}$ (2価)	2 : 1

# さまざまなイオン結晶

## ◆さまざまなイオン結晶QR

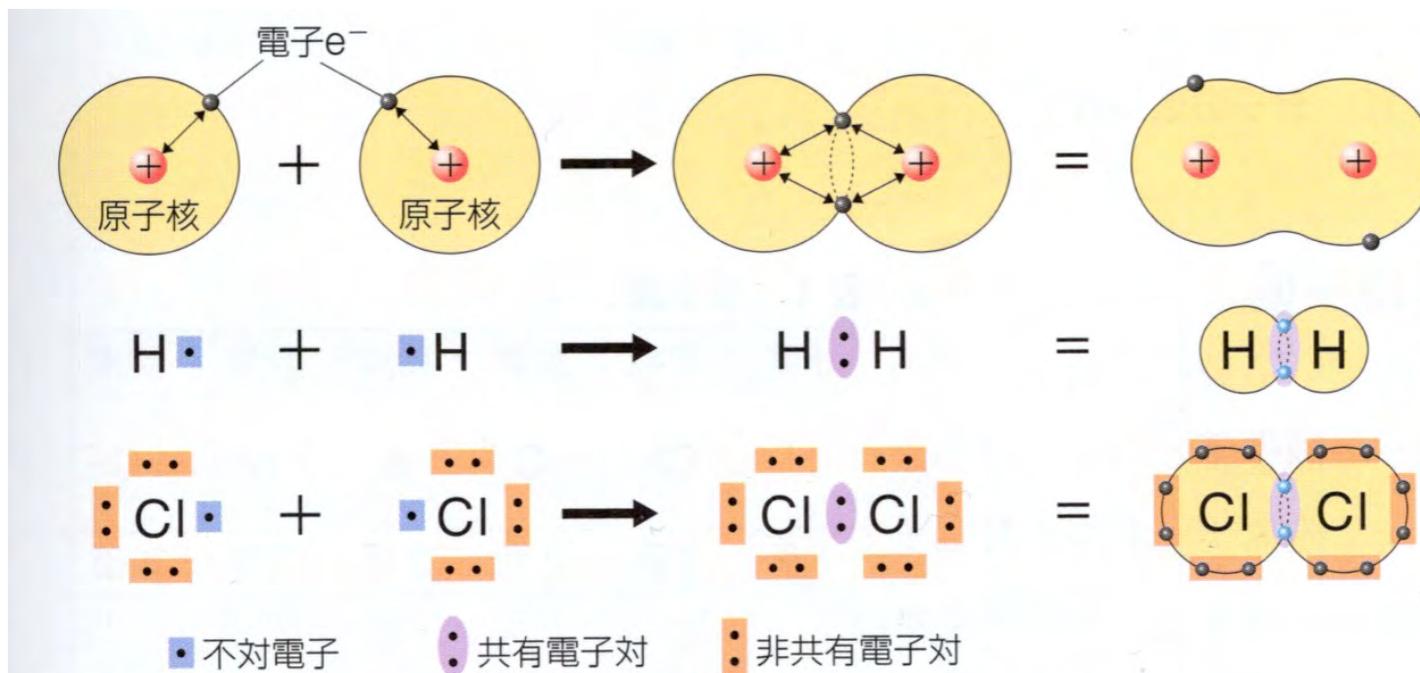
イオン結晶の構造にはいくつかの種類がある。

	塩化ナトリウム (NaCl) 型	塩化セシウム (CsCl) 型	閃亜鉛鉱 (ZnS) 型
結晶構造			
単位格子 (結晶格子のくり返し単位) における各イオンの位置	 Cl <sup>-</sup> Na <sup>+</sup>	 Cl <sup>-</sup> Cs <sup>+</sup>	 S <sup>2-</sup> Zn <sup>2+</sup>
単位格子の面で切断した模型	 1/4 個 0.56 nm 1/2 個 1 個 1/8 個	 1/8 個 0.41 nm 1 個	 1/8 個 0.54 nm 1/2 個 1 個
単位格子中に含まれるイオンの数	Na <sup>+</sup> : $\frac{1}{4} \times 12 + 1 = 4$ Cl <sup>-</sup> : $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$	Cs <sup>+</sup> : 1 Cl <sup>-</sup> : $\frac{1}{8} \times 8 = 1$	Zn <sup>2+</sup> : $1 \times 4 = 4$ S <sup>2-</sup> : $\frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$
配位数	Na <sup>+</sup> : 6 Cl <sup>-</sup> : 6	Cs <sup>+</sup> : 8 Cl <sup>-</sup> : 8	Zn <sup>2+</sup> : 4 S <sup>2-</sup> : 4
結晶構造をとる化合物	LiF, NaBr, KI, MgO, CaS	CsBr, CsI, NH <sub>4</sub> Cl	CdS, CuI, CuBr, CuCl

## 2. 共有結合

- 非金属どうしの原子が価電子を共有する結合を共有結合といい、安定に存在する分子では、一般に各原子は貴ガス原子と同じ電子配置になっている。

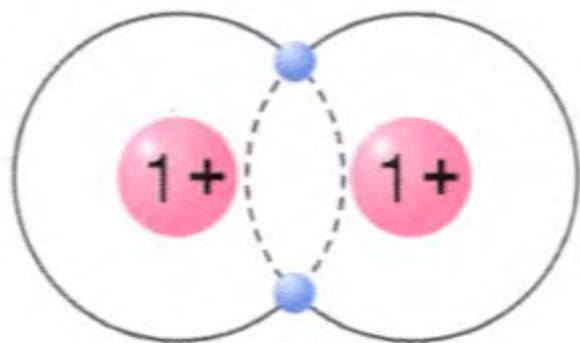
# 共有結合の形成



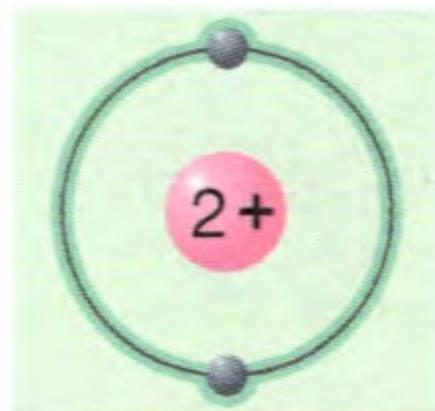
不対電子 1 個ずつ出しあって、原子間に共有電子対ができ、結合する。

図 8 共有結合の形成

# 水素分子とヘリウム原子の電子配置



水素分子 H<sub>2</sub>



ヘリウム原子 He

# 分子とは

- いくつかの原子が結合し、ひとまとまりになった粒子を分子という。
- 元素記号と原子数を用いて分子を表す式を分子式という。
- 分子式は、その物質がどのような状態でも共通に用いられる。
- 固体、液体、気体の水は全て  $\text{H}_2\text{O}$
- 二酸化炭素は固体（ドライアイス）でも気体でも  $\text{CO}_2$

# 分子式の例

▼表 2 分子式の例

分子の種類	分子式		
単原子分子	He(ヘリウム)	Ne(ネオン)	Ar(アルゴン)
二原子分子	H <sub>2</sub> (水素)	O <sub>2</sub> (酸素)	HCl(塩化水素)
多原子分子	H <sub>2</sub> O(水)	CO <sub>2</sub> (二酸化炭素)	NH <sub>3</sub> (アンモニア)

原子間の結合 A: 共有結合 p.57 ~

## 最外殻電子と電子式

原子の最外殻電子は、原子が他の原子と結合するときなどに重要な役割をするので、価電子と呼ばれる。

元素記号のまわりに、最外殻電子を点で表したものを電子式という。P.58

# 電子式

価電子の数		1	2	3	4	5	6	7	0
最外殻電子の数		1	2	3	4	5	6	7	8
電子式	周期 1	H·							He:*
	2	Li·	Be·	·B·	·C·	·N:	·O:	:F:	:Ne:
	3	Na·	Mg·	·Al·	·Si·	·P:	·S:	:Cl:	:Ar:

- ・ 元素記号の上下左右の4ヶ所に電子「・」を書き入れる。
- ・ 電子4個目までは、上下左右に1個ずつ書く。
- ・ 電子5個目以降は、上下左右にすでに書いてある電子「・」と対になるように「・」を書き入れる。

▲図11 電子式 \*He の最外殻電子の数は2個で対をつくる。

電子式は必要に応じて点の位置を入れ替えても良い。ただし、  
 不對電子を2個まとめて電子対にしてはいけない。

# 原子間の結合 A: 共有結合

## 電子対と不対電子 (p.58下)

原子中の同じ電子殻の電子は、電子の数が多くなると、2個ずつ対をなして安定な状態になる。このように、**対になった電子を電子対**という。

**貴ガス以外**の元素の原子は、最も外側の電子殻に**対をなさない電子**をもつ。

**価電子**のうち、対をなさず、単独で存在する電子を**不対電子**という。

# 電子対と不對電子 p.58 図12

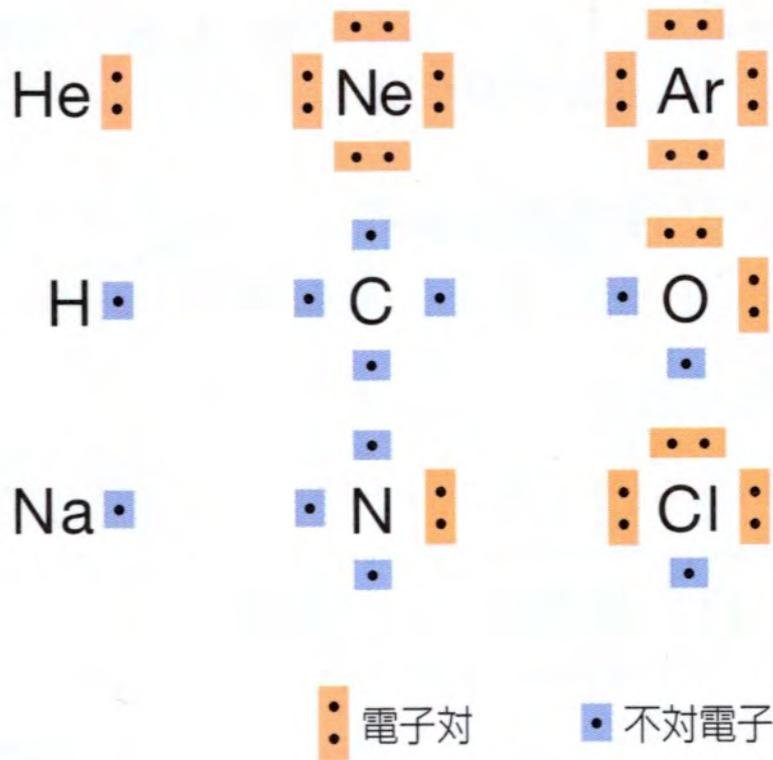


図 12 電子対と不對電子<sup>1)</sup>

# 原子間の結合 A: 共有結合

p.59 上 図13

不対電子を持つ原子どうしが接近すると、各原子の不対電子は他方の原子核から引力を受け、その反作用で他方の原子核を引きつける。

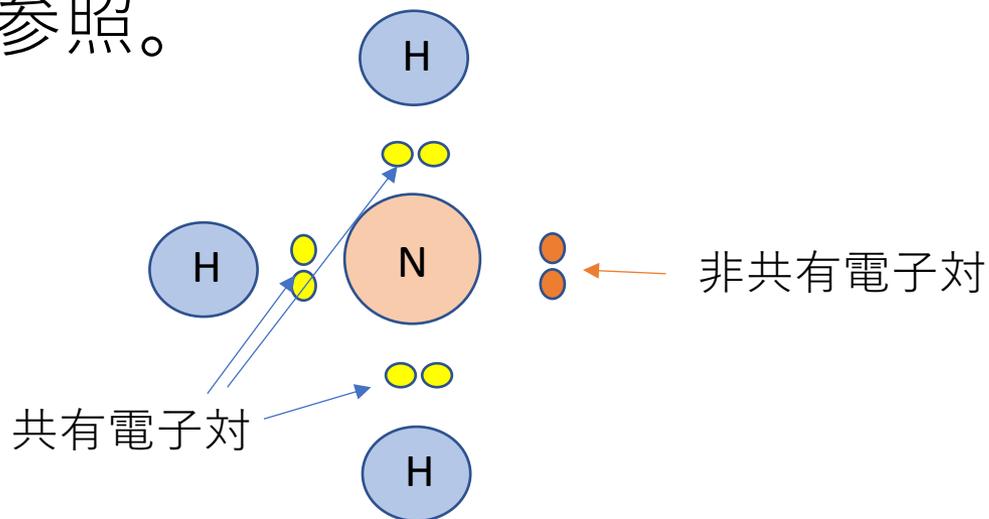
両者の不対電子は組み合わさって対をなし、両方の原子核の間に共有される。

このように、原子間に共有された電子対を、共有電子対といい、共有電子対によってできる結合を共有結合という。

# 非共有電子対と共有電子対 p.58 上

原子間に共有されない電子対は、非共有電子対とよばれ、共有電子対とは区別される。

p.58 図13を参照。

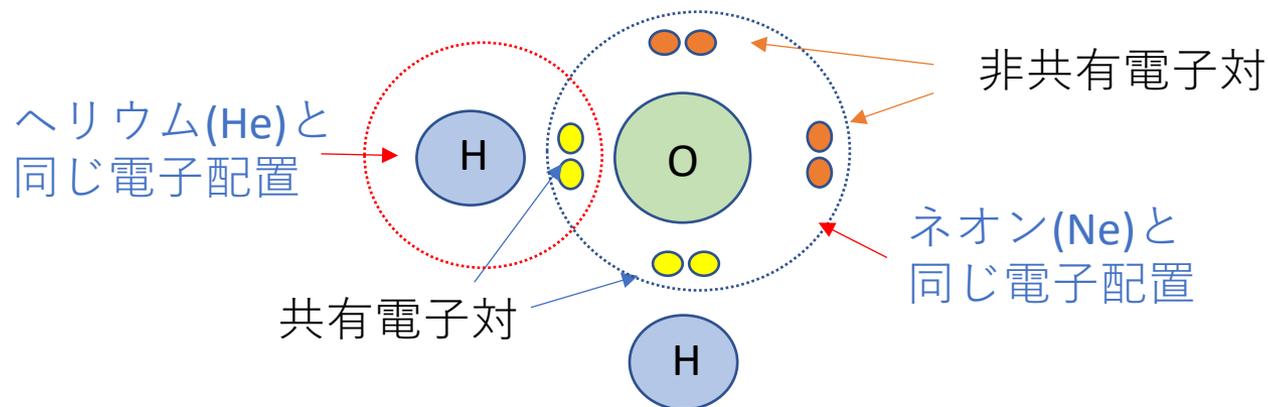


# 共有結合の電子配置 p.59

不対電子をもつ原子や原子団は、共有結合をつくり、分子を形成することが多い。

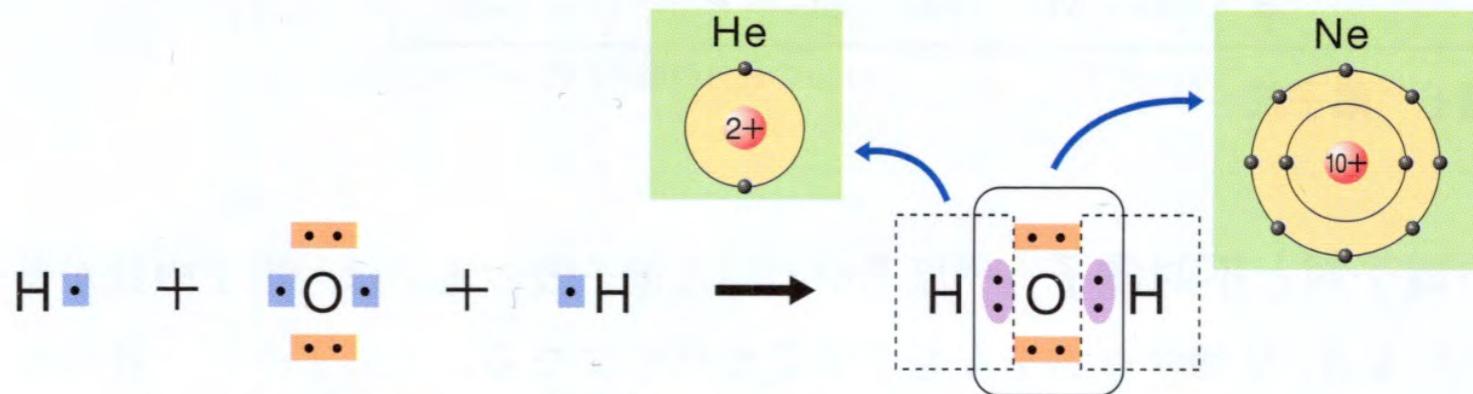
安定に存在する分子では、

一般に、各原子は貴ガス原子と同じ電子配置になっている。



# 共有結合の電子配置と水分子の形成

p.59 図13



水  $\text{H}_2\text{O}$  では、 $\text{H}$  原子 2 個と  $\text{O}$  原子 1 個が共有結合して最外殻の不足している電子を補充しあい、 $\text{H}$  原子は  $\text{He}$ 、 $\text{O}$  原子は  $\text{Ne}$  と同じ電子配置になっている。

図13 水分子の形成

# 共有結合の種類 p.59 下

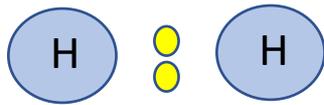
1 組の共有電子対からなる共有結合を単結合、  
2 組の共有電子対からなる共有結合を二重結合、  
3 組の共有電子対からなる共有結合を三重結合  
という。

水素分子  $\text{H}_2$ 、水  $\text{H}_2\text{O}$  → 単結合

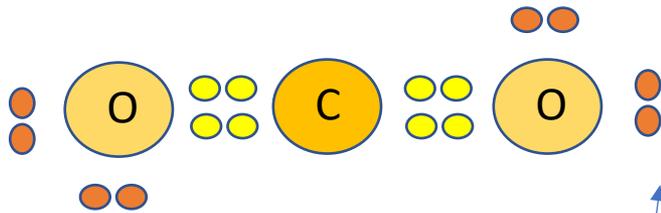
二酸化炭素  $\text{CO}_2$  → 二重結合

窒素ガス  $\text{N}_2$  → 三重結合

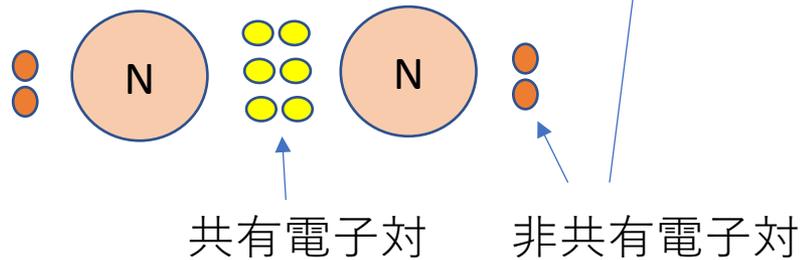
# 共有結合の種類



単結合



二重結合



三重結合

# 分子式・電子式・構造式

- 1組の共有電子対を1本の線であらわしたものを「**価標**」という。「**価標**」を用いて分子内の原子の結びつきを表した化学式を**構造式**という。
- p.59 図14 分子の表し方
- p.62 表4 分子の形 参照

# 分子の表し方 p.59 図14

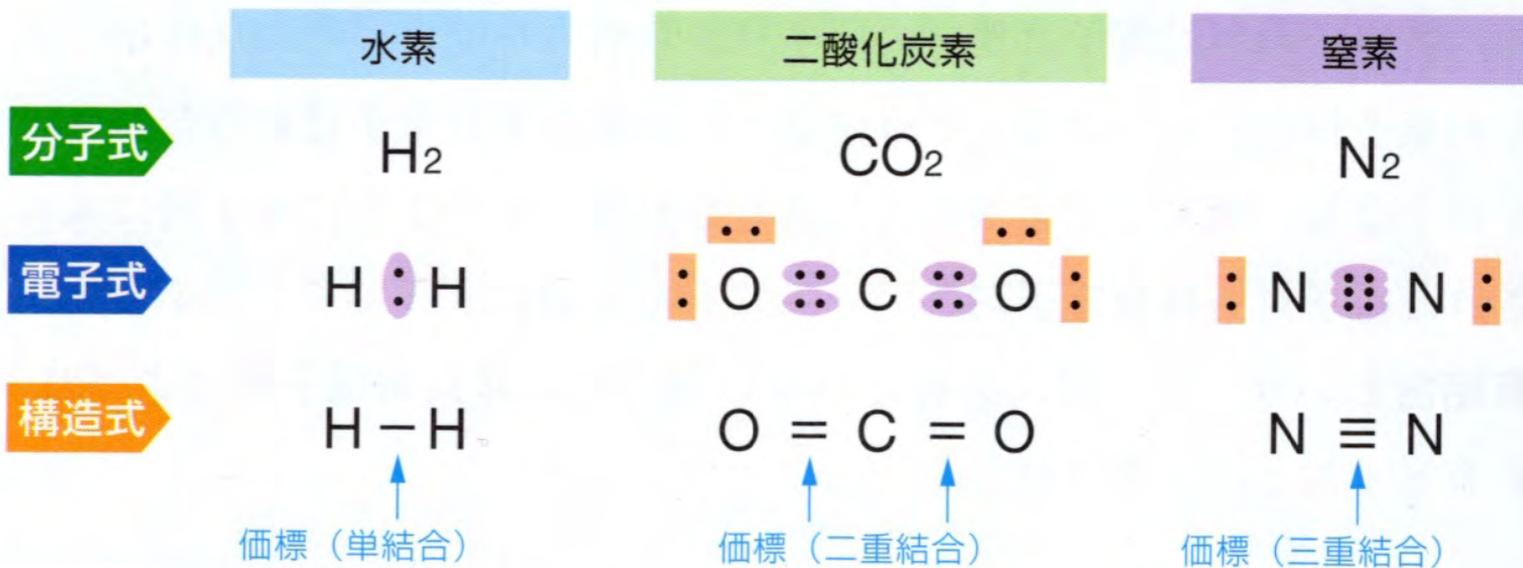


図 14 分子の表し方

# 原子価 p.62 表 3

1個の原子から出ている価標の数を、その原子の原子価という。原子価は、その原子がもつ不対電子の数に相当する。

水素 H- 1価

塩素 Cl- 1価

酸素 -O- 2価

硫黄 -S- 2価

窒素 -N- 3価

炭素  $\begin{array}{c} | \\ -C- \\ | \end{array}$  4価

# 原子価 p.62

◆**原子価** 1個の原子がつくる結合の数を、その原子の **原子価** valence という。

原子価は、一般に、その原子がもつ不対電子の数に相当する。

▼表3 原子価

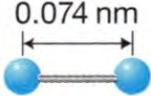
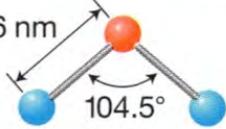
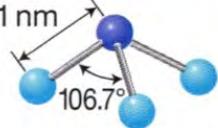
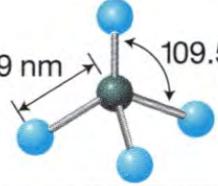
族	1	14	15	16	17	18
原子	H—	—C—    —Si—	—N—    —P—	—O—    —S—	F—    Cl—	Ne    Ar
	H·	·C·    ·Si·	·N·    ·P·	·O·    ·S·	:F·    :Cl·	:Ne:    :Ar:
原子価	1 価	4 価	3 価	2 価	1 価	0 価

# 分子の構造 p.57 上、 p.62

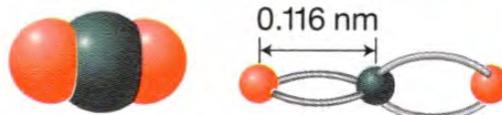
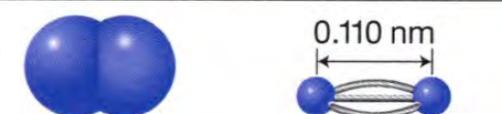
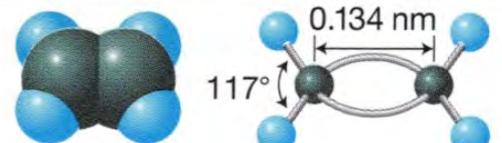
- 構造式は原子間の結合のみを示すもので、**実際にはそれぞれ固有の立体構造**がある。
- p. 62 表 4 分子の形 参照

# 分子の構造 p.62 表4

▼表4 分子の形 一般に構造式が似ている分子どうしは似た形をしている。

名称と分子式	電子式	構造式	分子の形の模型(結合距離, 結合角)
水素 H <sub>2</sub>	H:H	H-H	  0.074 nm 直線形
水 H <sub>2</sub> O	H:Ö:H	H-O-H	  0.096 nm 104.5° 折れ線形
アンモニア NH <sub>3</sub>	H:Ñ:H H	H-N-H H	  0.101 nm 106.7° 三角錐形 <small>すい</small>
メタン CH <sub>4</sub>	H H:C:H H	H H-C-H H	  0.109 nm 109.5° 正四面体形

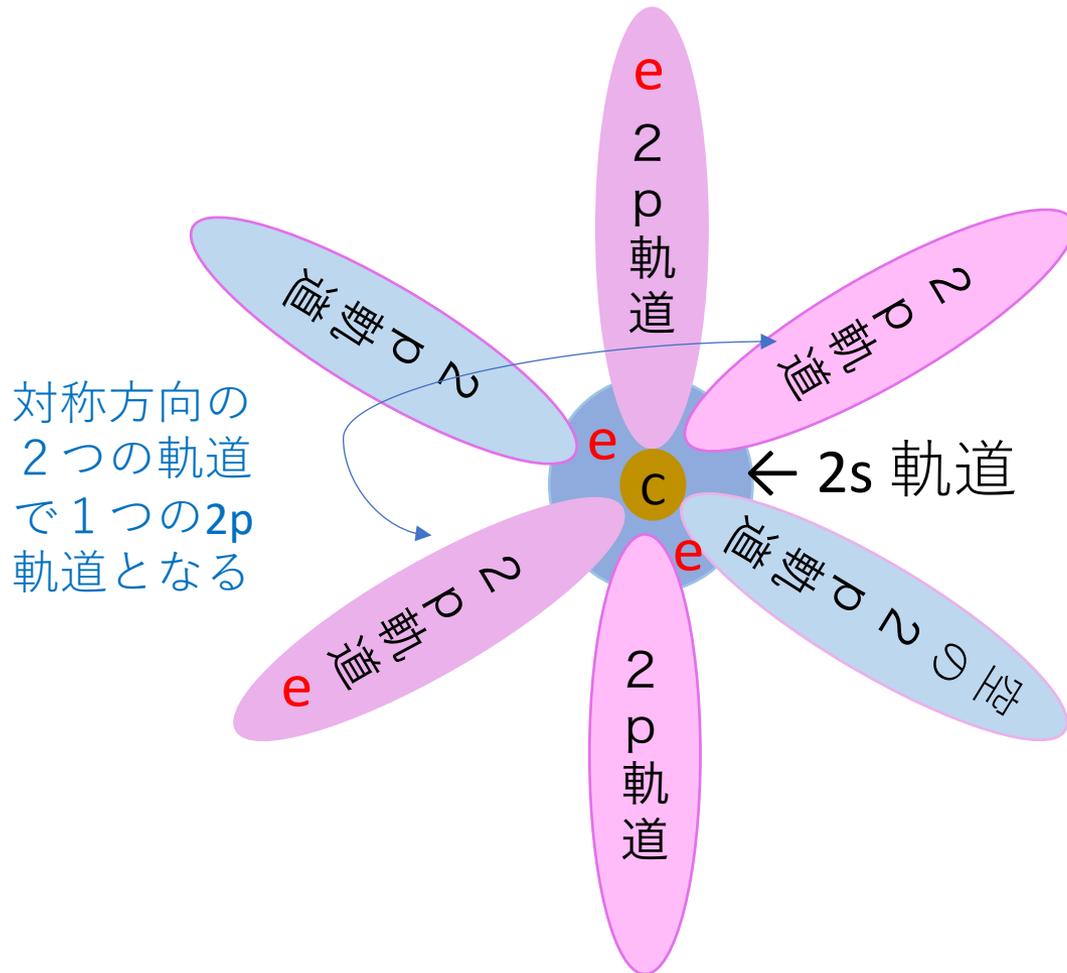
# 分子の構造 p.62 表4 (続き)

名称と分子式	電子式	構造式	分子の形の模型(結合距離, 結合角)
二酸化炭素 CO <sub>2</sub>	$\begin{array}{c} \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{O} \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{C} \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \\ \text{O} \\ \cdot\cdot \\ \cdot\cdot \end{array}$	O=C=O	 0.116 nm 直線形
窒素 N <sub>2</sub>	$\text{:N}::\text{N:}$	N≡N	 0.110 nm 直線形
エチレン C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	$\begin{array}{cc} \text{H} & \text{H} \\ \cdot\cdot & \cdot\cdot \\ \text{C} & :: & \text{C} \\ \cdot\cdot & \cdot\cdot & \cdot\cdot \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$	 0.134 nm 117° 平面形

# 炭素原子の混成軌道 p. 64 – p.65

- 炭素、窒素、酸素、硫黄などの原子は、基底状態の原子配置から変化して混成軌道を形成し、他の原子と結合します。
- これらの混成軌道として、  
 **$sp^3$  ,  $sp^2$  ,  $sp$  混成軌道** などがあります。

# 炭素原子の基底状態の L 殻電子軌道

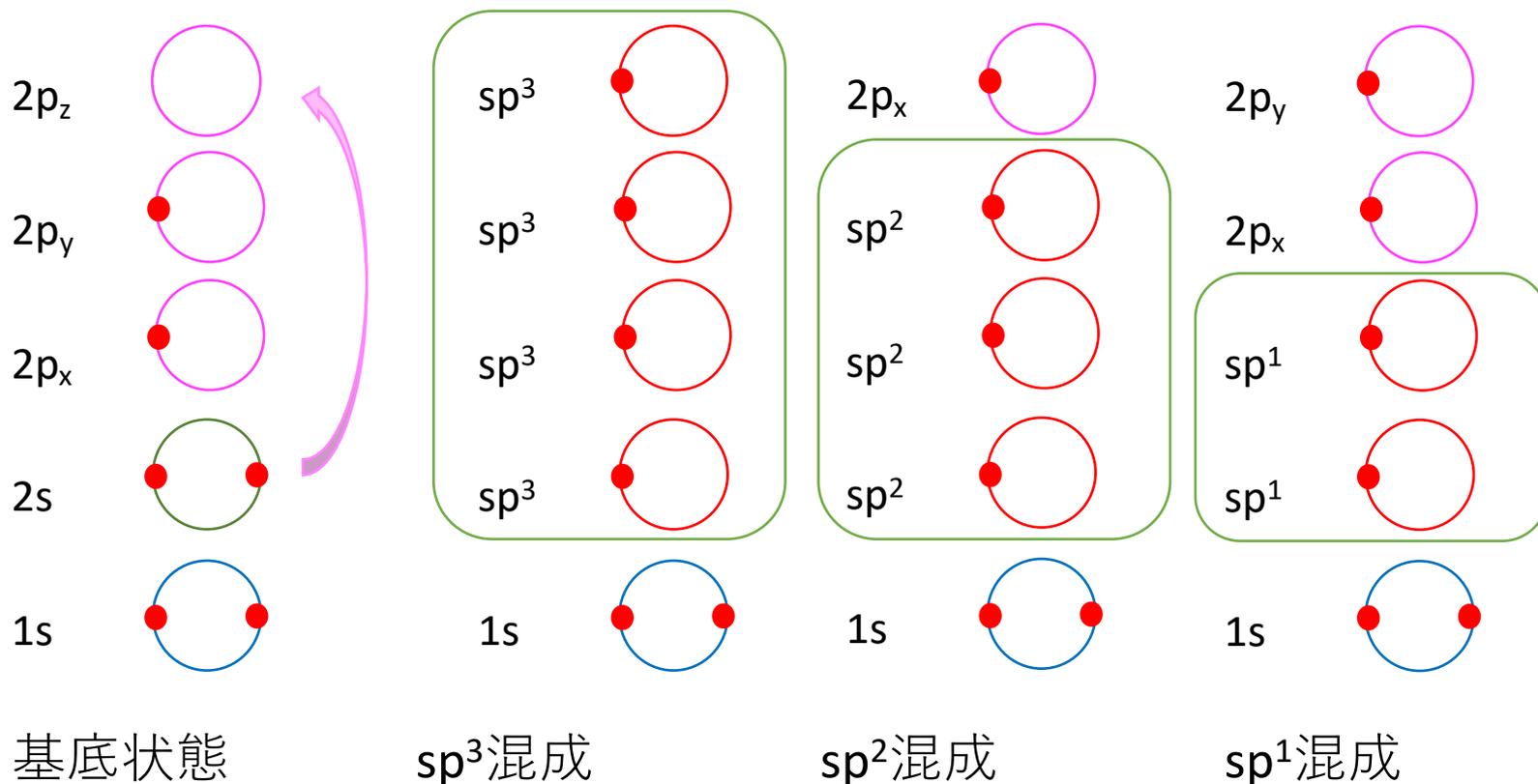


2s軌道から空の  
2p軌道に電子1  
個が移動し、混  
成軌道の形成が  
始まる。

e は電子を表す

# 混成軌道のでき方

●: 電子



部屋の模様替えのようなもの。  
4個の軌道のうち何個を混成するか？

# 炭素原子の $sp^3$ 混成軌道の形成

L殻内の電子配置 炭素の場合L殻が最外殻となる。

	K殻		L殻			
	1s	2s	2p <sub>x</sub>	2p <sub>y</sub>	2p <sub>z</sub>	
(a)	⊖ ⊖	⊖ ⊖	⊖	⊖		
(b)	⊖ ⊖	⊖	⊖	⊖	⊖	

$sp^3$  混成軌道 ⊖ : 電子

基底状態の電子配置

2s 軌道の電子 1 個  
が2p<sub>z</sub>軌道へ昇位

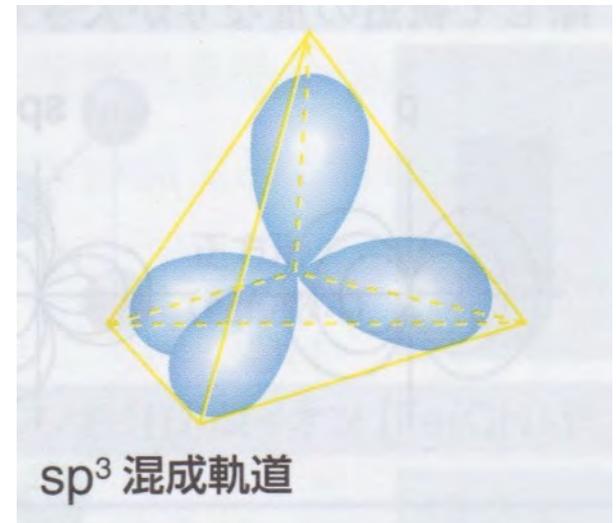


図2 炭素原子の電子配置

# 炭素原子の $sp^3$ 混成軌道の形成

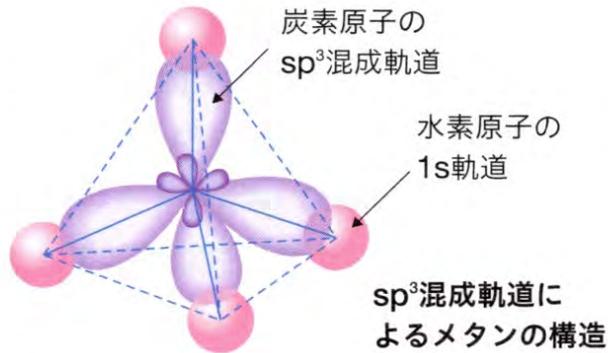
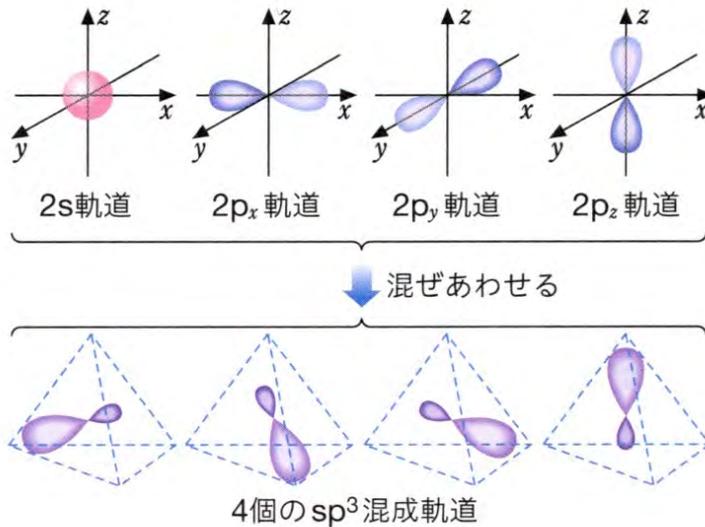
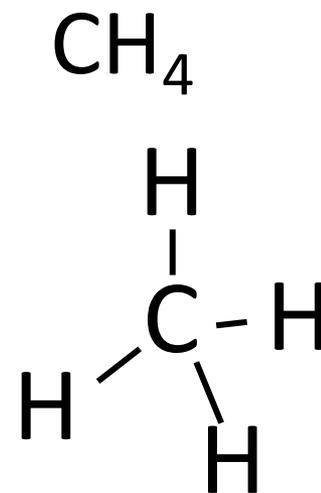
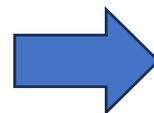
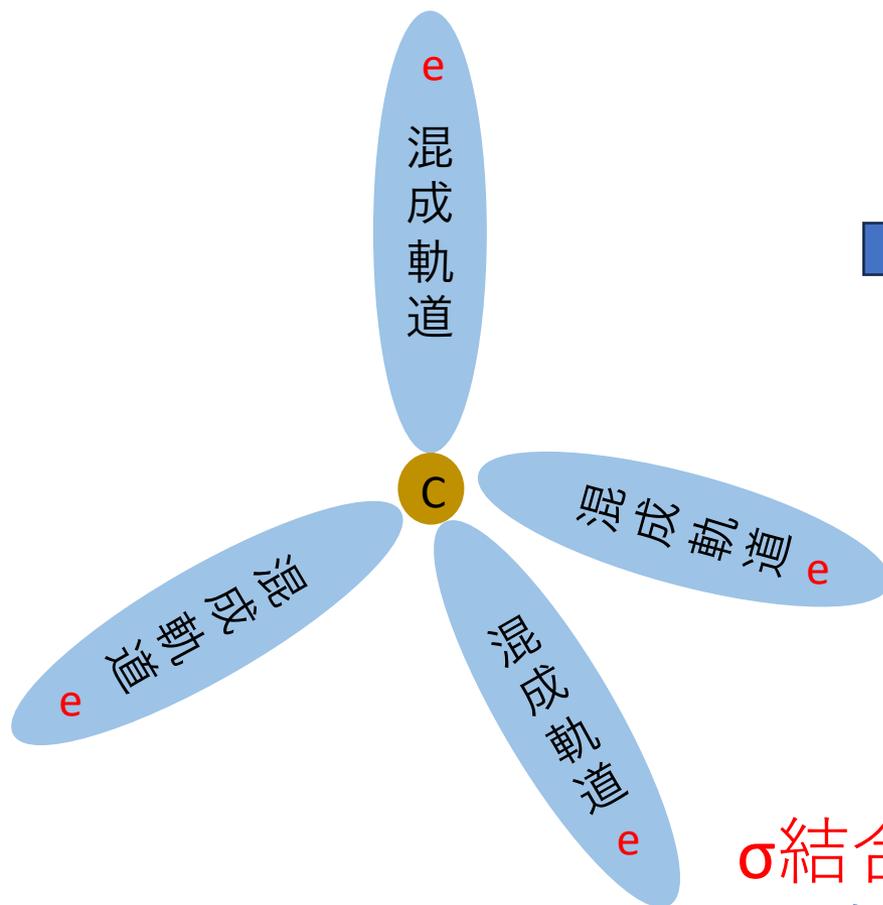


図3  $sp^3$  混成軌道の形成  
それぞれの軌道は、電子の存在確率が高い空間領域を示している。

# sp<sup>3</sup> 混成軌道

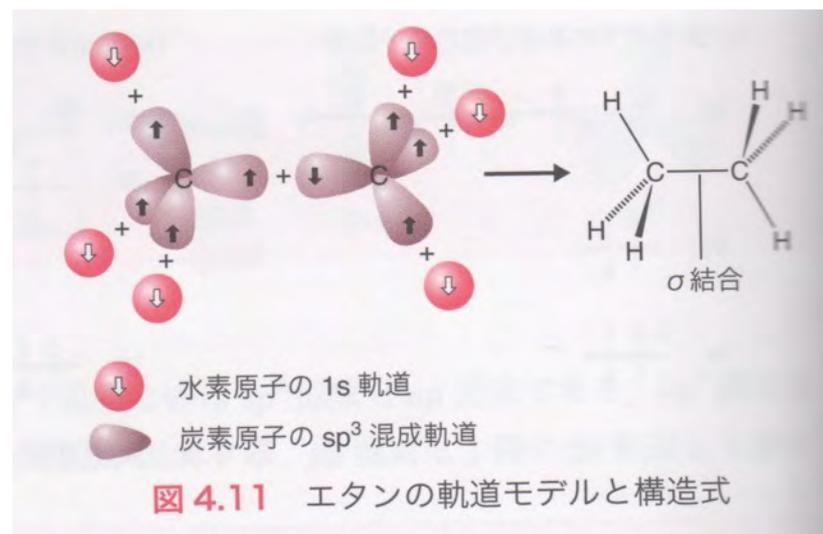
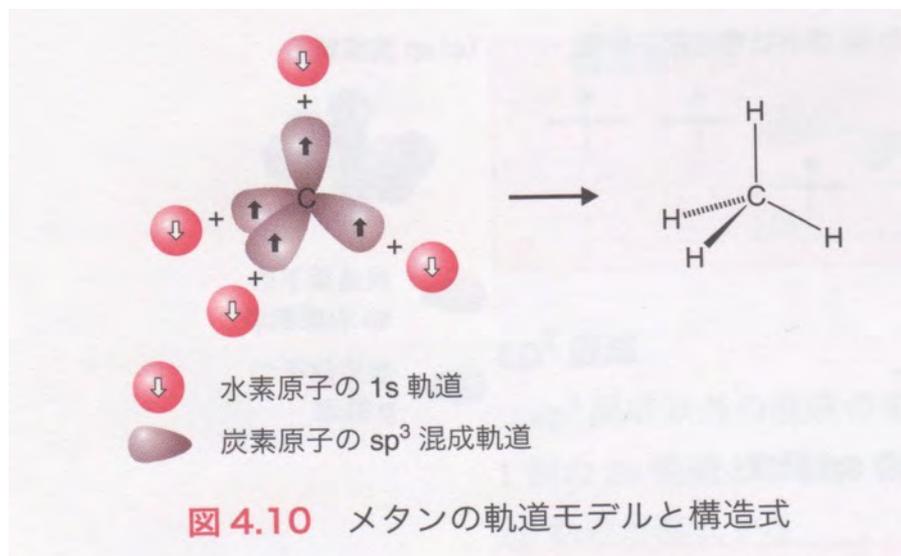


メタン

σ結合

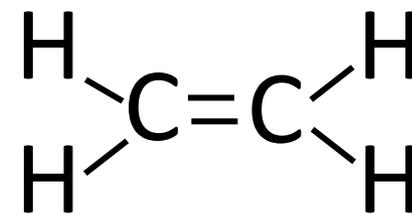
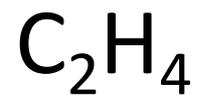
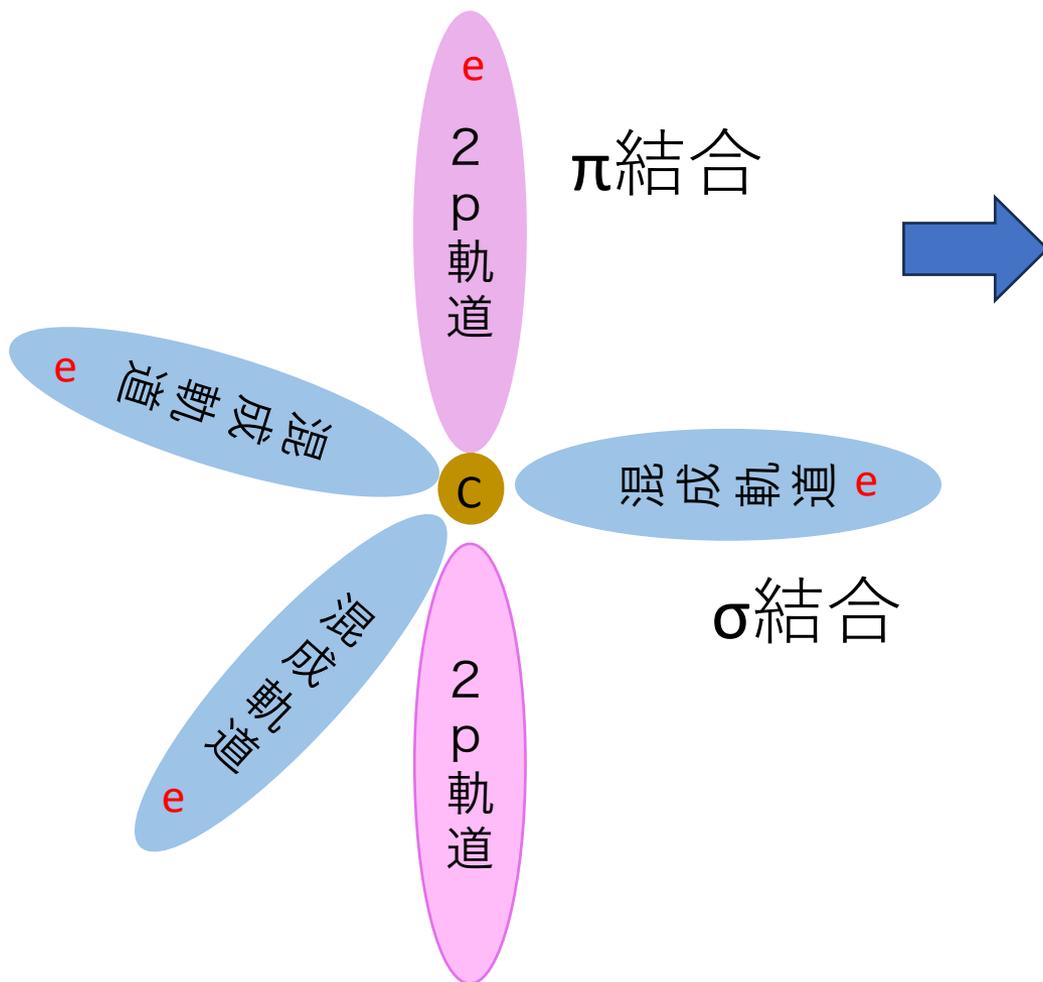
混成軌道が作る  
共有結合のこと

# $sp^3$ 混成軌道による結合



竹内敬人「ベーシック化学」(化学同人)より引用

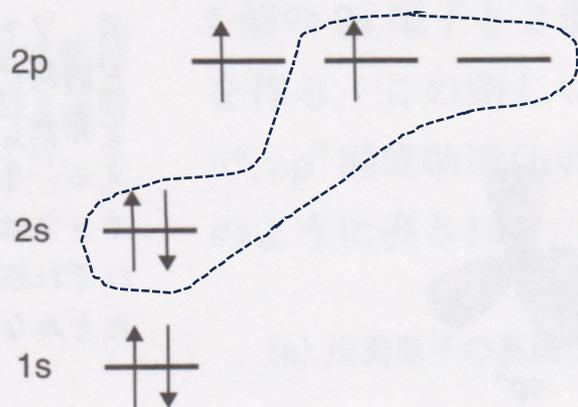
# sp<sup>2</sup>混成軌道



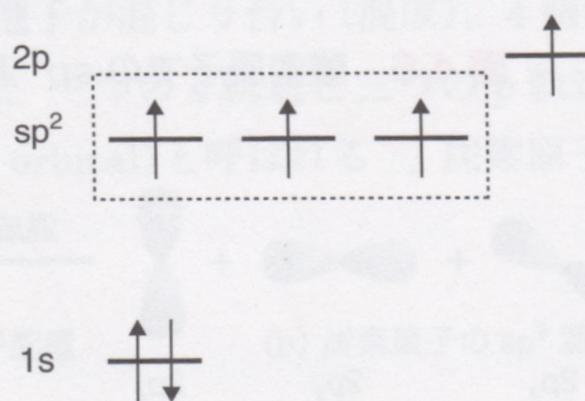
エチレン

# $sp^2$ 混成軌道の形成

(a) 炭素原子の基底状態の電子配置



(b) 炭素原子の  $sp^2$  混成状態の電子配置



(c)  $sp^2$  混成軌道

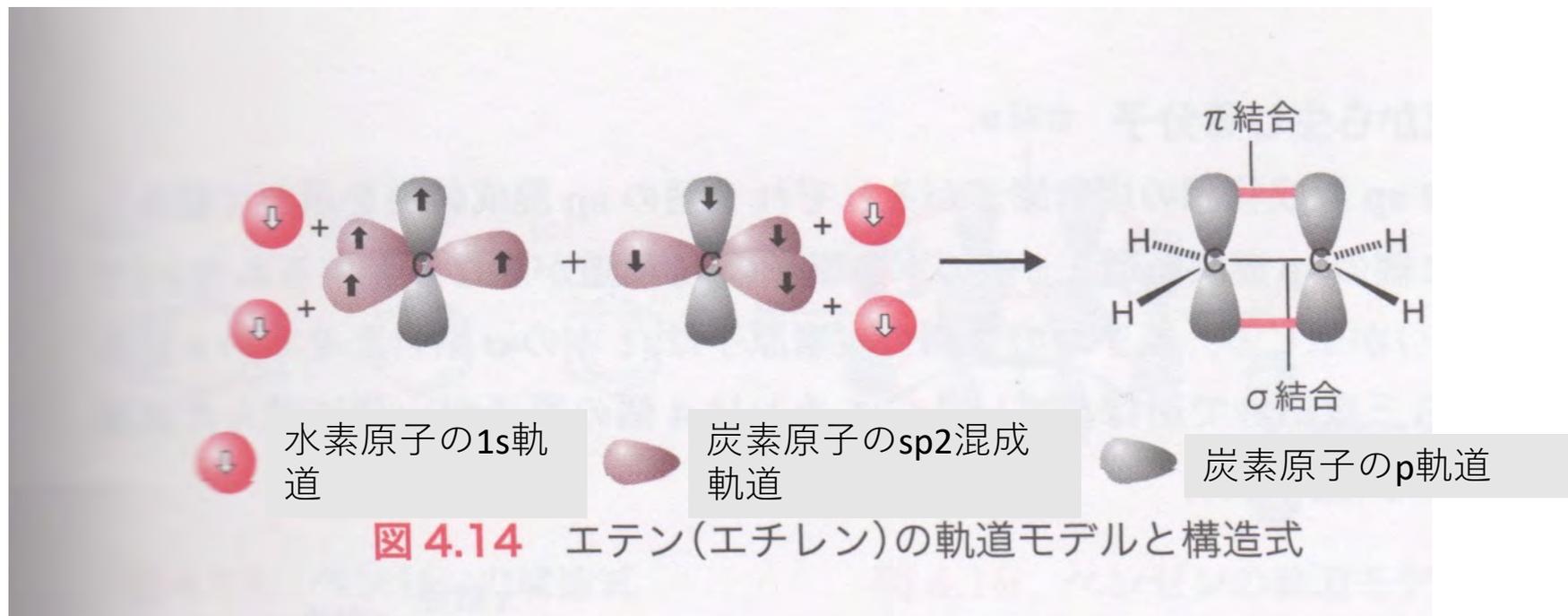


図 4.8 炭素原子の  $sp^2$  混成

2s軌道 1 個と 2p軌道 2 個が混成して  $sp^2$  混成軌道 3 個になる。

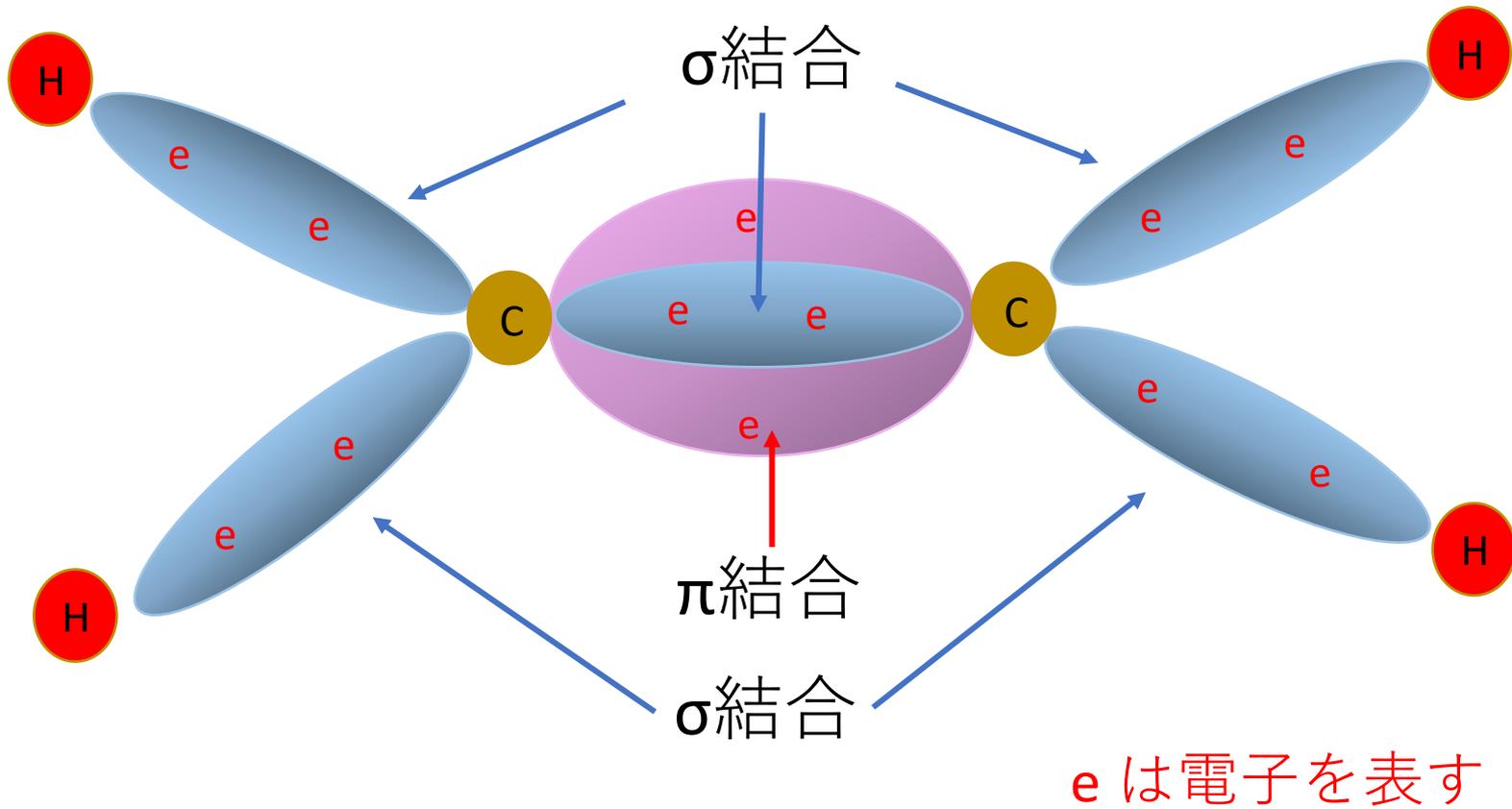
竹内敬人「ベーシック化学」(化学同人)より引用

# sp<sup>2</sup> 混成軌道による結合

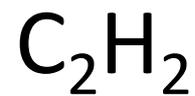
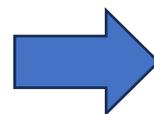
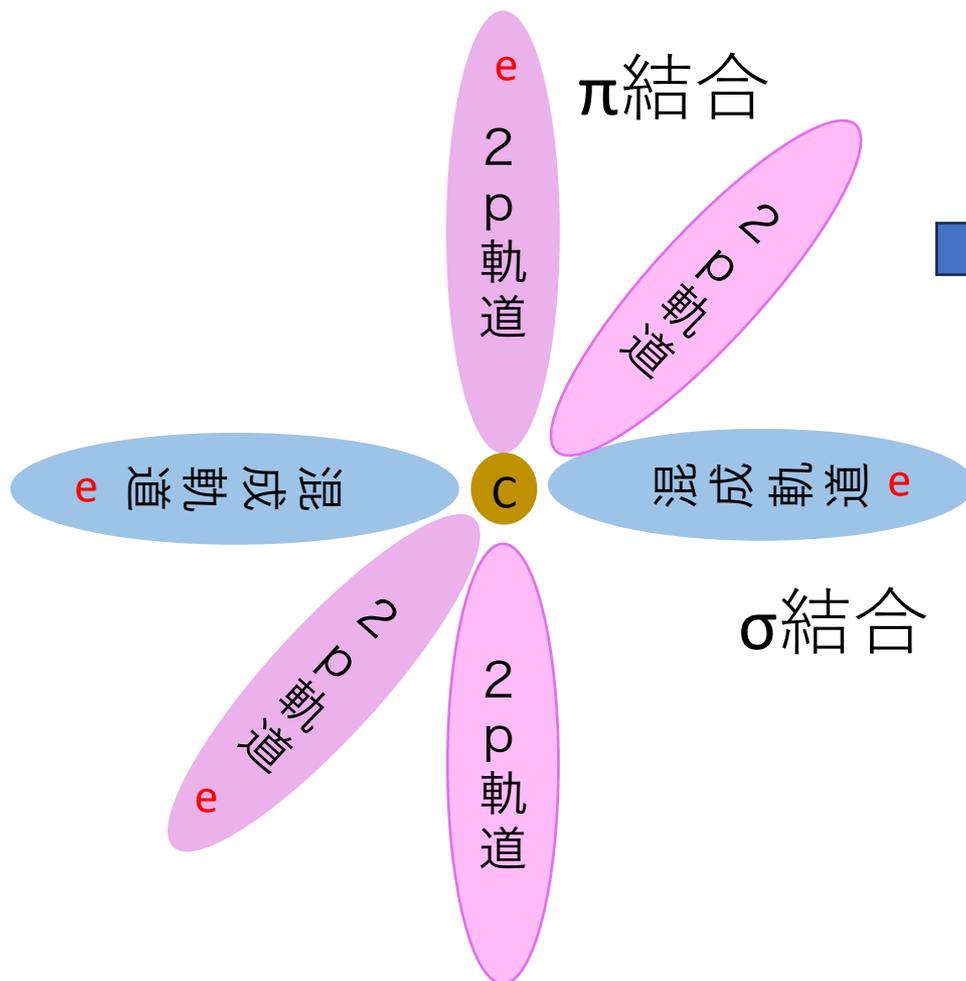


竹内敬人「ベーシック化学」(化学同人)より引用

# $\sigma$ 結合と $\pi$ 結合 エチレンの場合



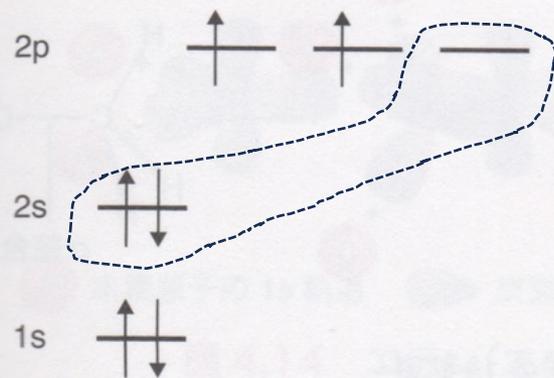
# sp混成軌道



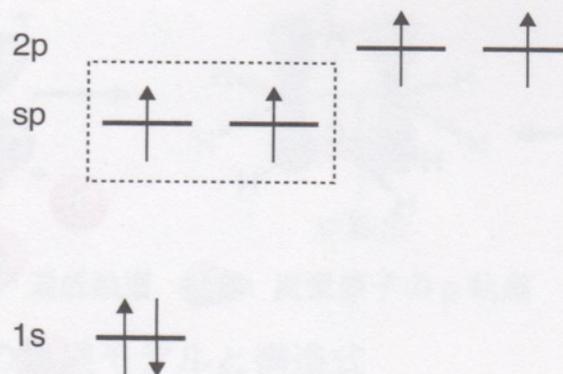
アセチレン

# sp 混成軌道の形成

(a) 炭素原子の基底状態の電子配置



(b) 炭素原子の sp 混成状態の電子配置



(c) sp 混成軌道

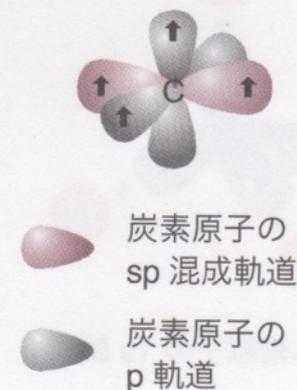
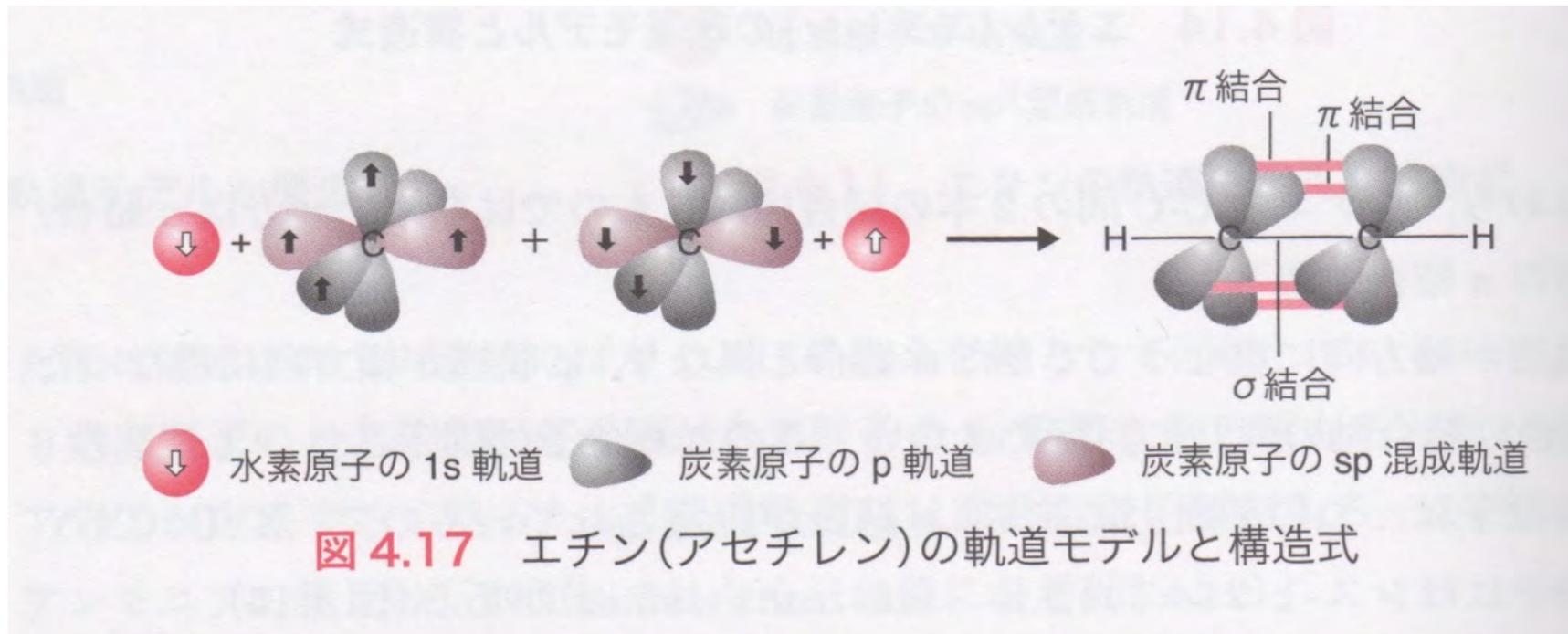


図 4.9 炭素原子の sp 混成

2s軌道 1 個と空の2p軌道 1 個が混成してsp混成軌道 2 個になる。

竹内敬人「ベーシック化学」(化学同人)より引用

# sp 混成軌道による結合



竹内敬人「ベーシック化学」(化学同人)より引用

# 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。

# 今日（5月8日）の課題

(1) 次の物質が10gずつあるとき、それぞれの物質の物質質量(mol)を求めよ。

(a) 酸素分子、(b) 水、(c) アンモニア

(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。

メール宛先： [kiyosi.tutuki@icloud.com](mailto:kiyosi.tutuki@icloud.com)

メールのタイトルは、

「入門化学5/8課題、学籍番号、氏名」としてください。

期限： 5月13日（月）

# 帯広で見られるスミレ

エゾノタチツ  
ボスミレ



タチツボスミ  
レ



ツボスミレ



サクラスミレ



アカネスミレ



アメリカスミレサイ  
シン（外来種）