

入門化学04
イオン結合・共有結合

筒木 潔



芽室町の畑 2021.5.4 (古砂丘地形)

前回（5月7日）の課題

(1) ドライアイス(CO_2)の分子量 $12+16 \times 2=44$

$$x \text{ (mol)} = 10\text{(g)} \div 44\text{(g/mol)} = 0.22727 \text{ (mol)}$$

ドライアイス 10 g の物質量は 0.227 mol

(2) ドライアイス10gが気化したときの体積

0°C、1気圧における1 molの気体の体積は22.4 L
なので、0.227mol の二酸化炭素の体積は

$$22.4 \text{ (L/mol)} \times 0.227 \text{ (mol)} = 5.08 \text{ L}$$

課題解答の提出に際して

- 文章による簡単な解説を添えること。
- 計算式も書くこと。
- 解答には単位も添えること。
- 計算の際に、有効数字は3桁で計算すること。
- 計算途中で桁数を減らしてしまうと、答えの精度が減少します。

$$22.4 \text{ (L/mol)} \times 0.227 \text{ (mol)} = 5.08 \text{ L}$$

$$22.4 \text{ (L/mol)} \times 0.23 \text{ (mol)} = 5.2 \text{ L}$$

世界の人口とアボガドロ数

- 世界の人口 = 80 億人 = 8.0×10^9 人
- アボガドロ数 = 6.02×10^{23}
- 世界の人口 / アボガドロ数 = 1.33×10^{-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	μ	n	p	f
10^{-3}	10^{-6}	10^{-9}	10^{-12}	10^{-15}

アボガドロ数は世界の人口の何倍か？

- 世界の人口 = 80 億人 = 8.0×10^9 人
- アボガドロ数 = 6.02×10^{23}
- アボガドロ数 / 世界の人口 = 7.53×10^{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

イオンのできかた

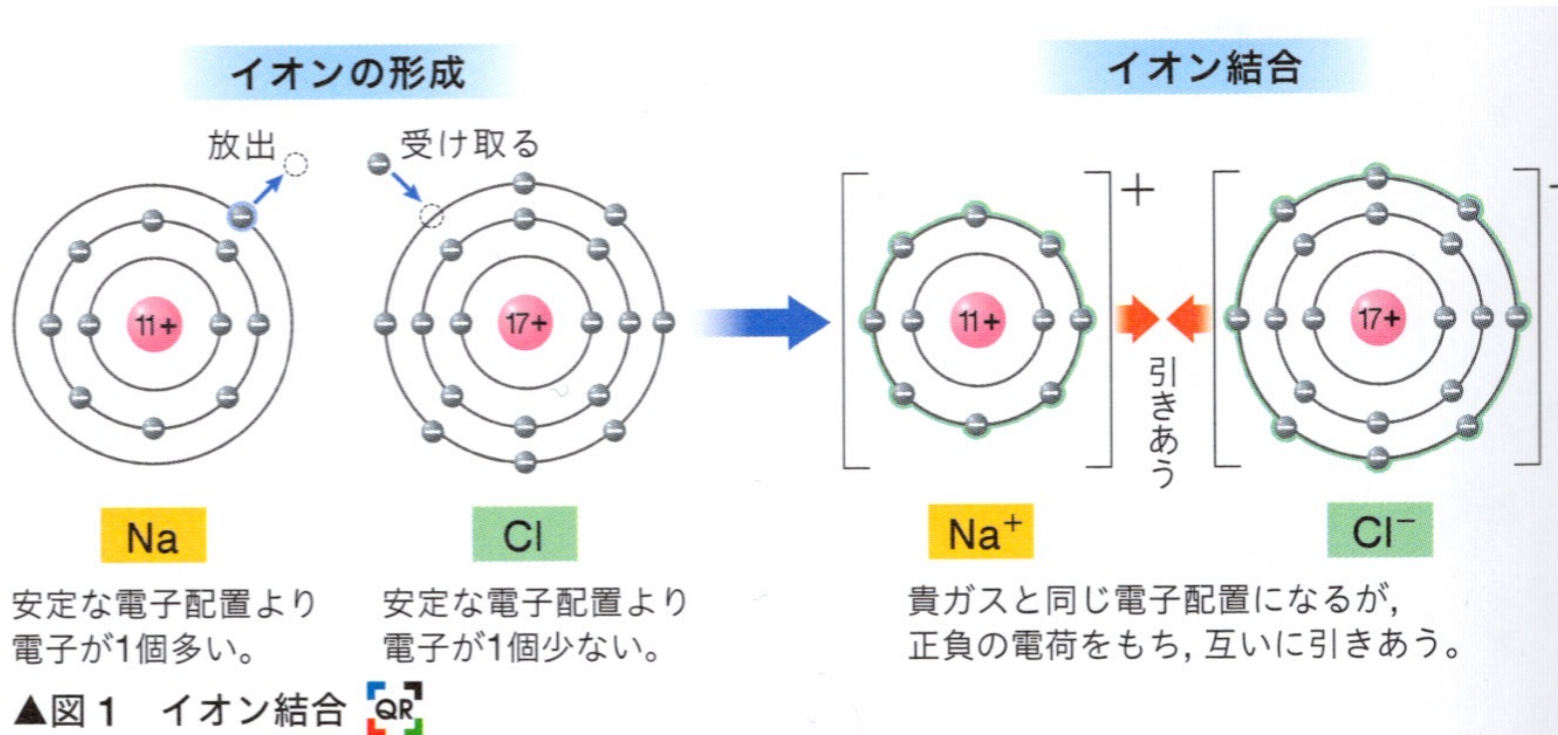
- 陽性の強い（イオン化エネルギーが小さい）元素（金属元素）は電子を放出して陽イオンとなる。
- 陰性の強い（電子親和力が大きい）元素（非金属元素）は電子を受け取って陰イオンとなる。
- それぞれ**貴ガス型電子配置**のイオンとなって安定化する。

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 2価の陽イオン
になりやすい。 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

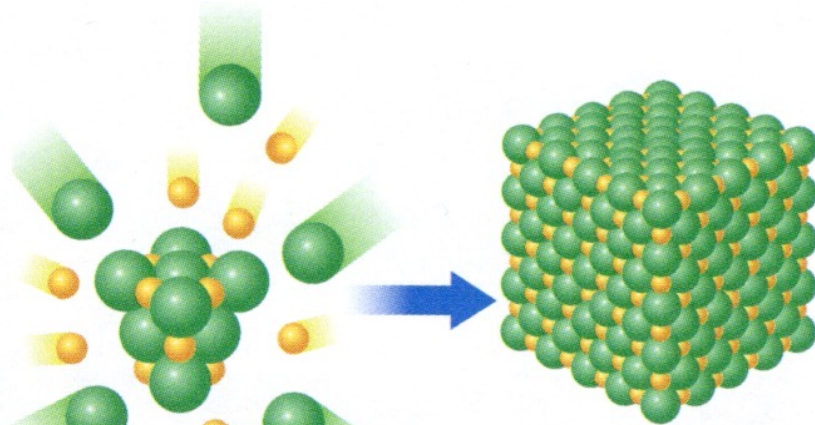
結晶格子と単位格子 p.52-53

- 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⁺
の数 (=4)

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

立方体の
各边上

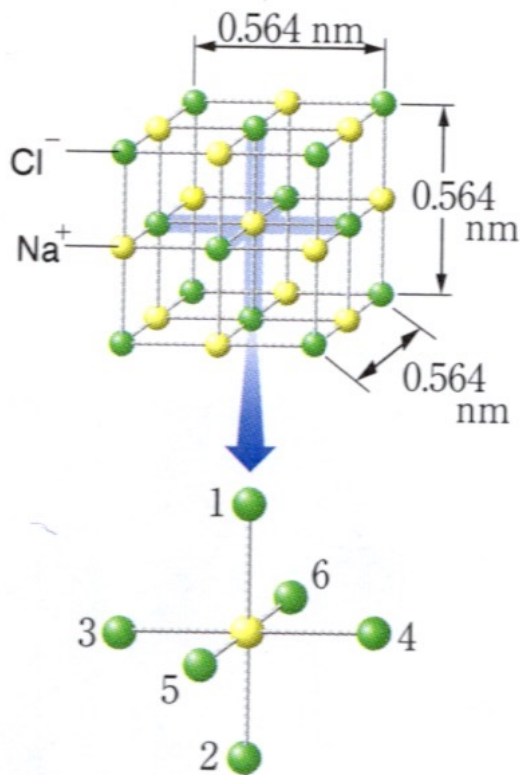
立方体の
中央

単位格子内のCl⁻
の数 (=4)

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

立方体の
角

立方体の
各面上



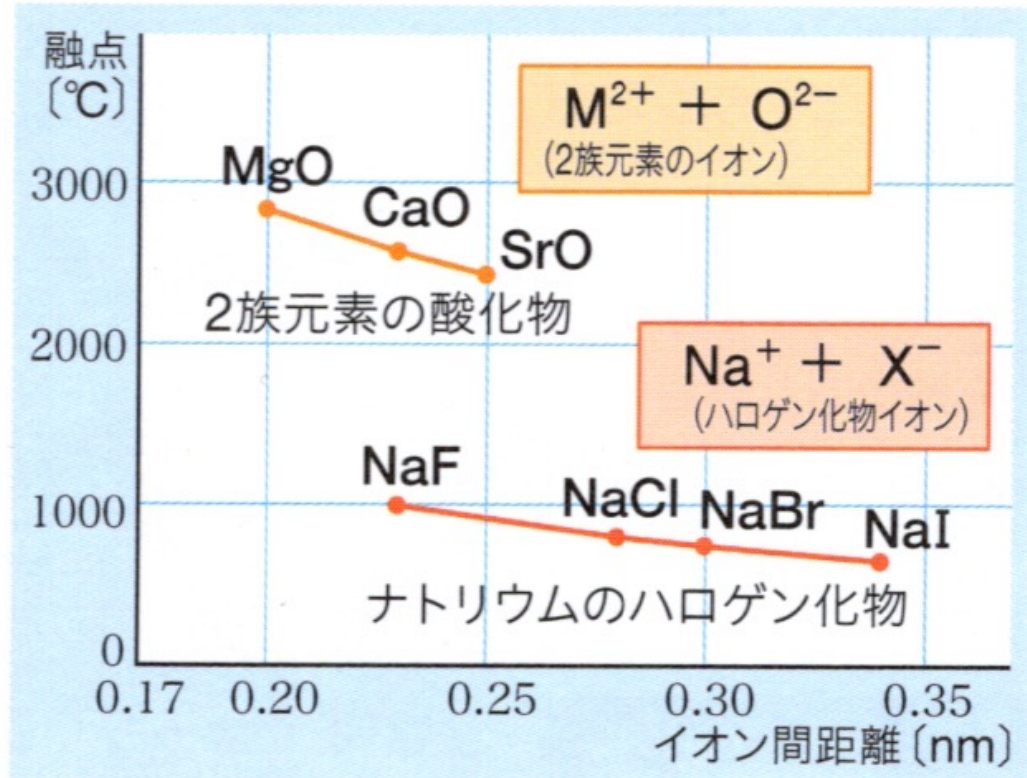
中心のNa⁺のもっとも近くにある
Cl⁻は6個である。

▲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

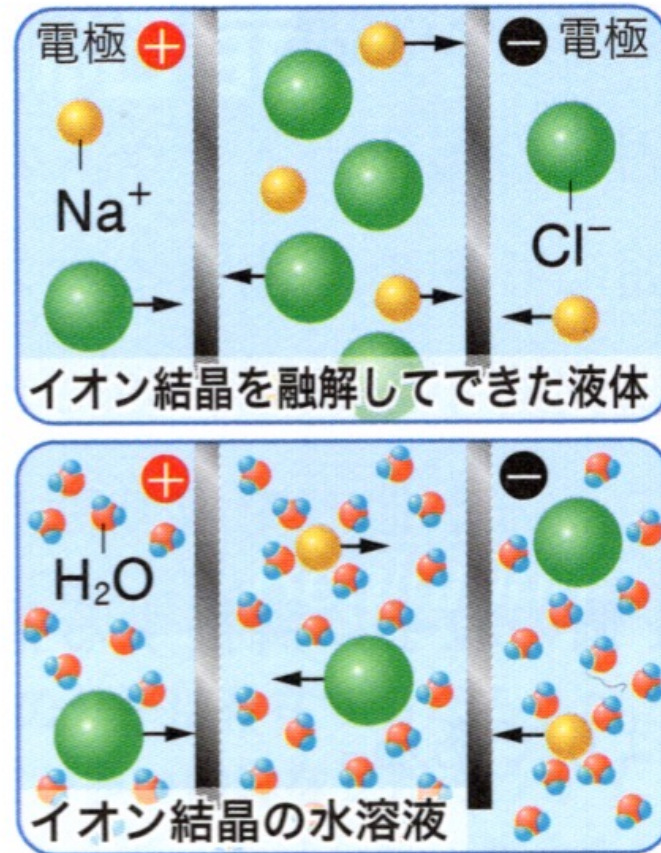
硫酸アンモニウム

- 水に溶けても電離せず分子のままである物質を**非電解質**という。

例：ショ糖（スクロース）、

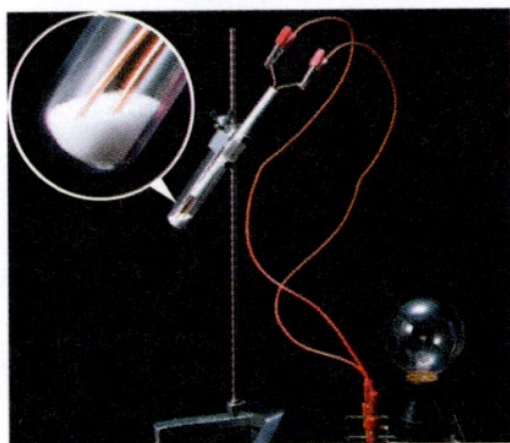
ブドウ糖（グルコース）

イオン結晶の 電気伝導性

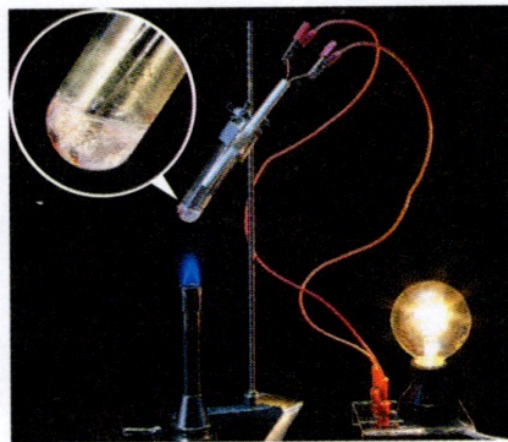


▲図6 イオン結晶の伝導性
融解して液体になったり、水溶液になったりすると、イオンが自由に移動できるようになる。

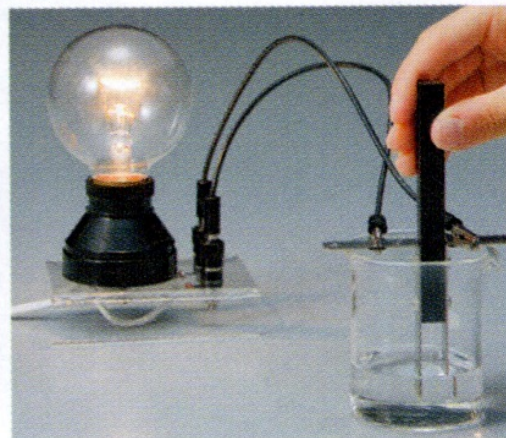
イオン結晶の電気伝導性



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

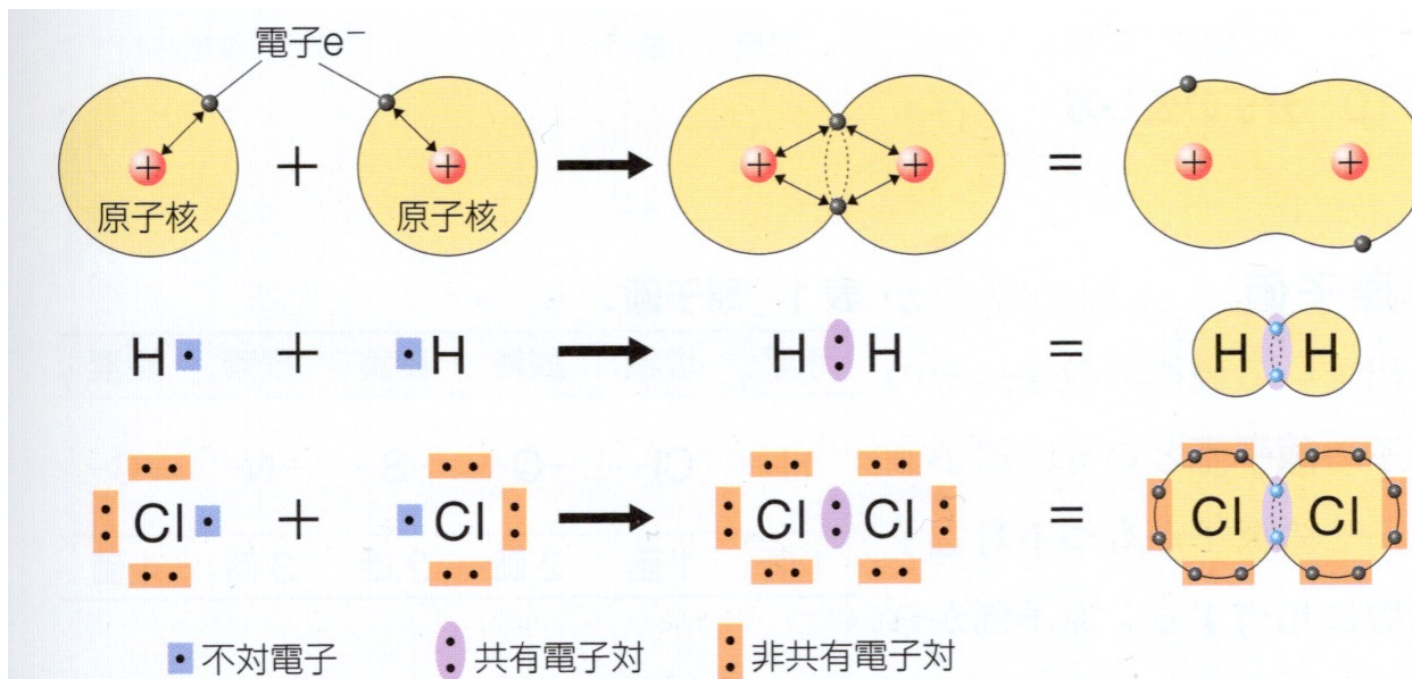
イオン結晶の構造にはいくつかの種類がある。

	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			
単位格子の面で切断した模型			
単位格子中に含まれるイオンの数	$\text{Na}^+ : \frac{1}{4} \times 12 + 1 = 4$ $\text{Cl}^- : \frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$	$\text{Cs}^+ : 1$ $\text{Cl}^- : \frac{1}{8} \times 8 = 1$	$\text{Zn}^{2+} : 1 \times 4 = 4$ $\text{S}^{2-} : \frac{1}{8} \times 8 + \frac{1}{2} \times 6 = 4$
配位数	$\text{Na}^+ : 6 \quad \text{Cl}^- : 6$	$\text{Cs}^+ : 8 \quad \text{Cl}^- : 8$	$\text{Zn}^{2+} : 4 \quad \text{S}^{2-} : 4$
結晶構造をとる化合物	LiF, NaBr, KI, MgO, CaS	CsBr, CsI, NH ₄ 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。

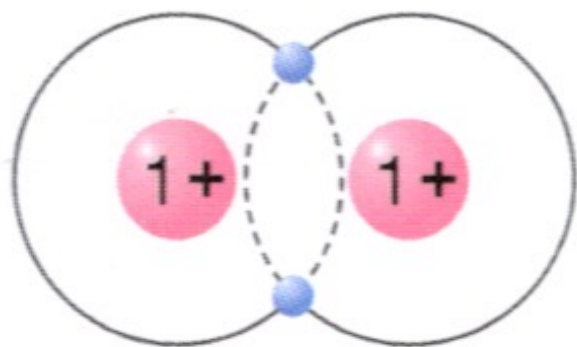
共有結合の形成



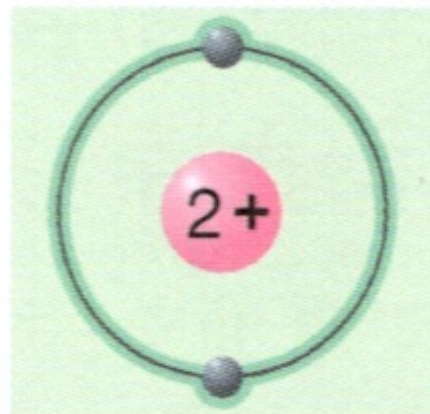
不対電子 1 個ずつ出しあって、原子間に共有電子対ができ、結合する。

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 H₂



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 H_2O
- 二酸化炭素は固体（ドライアイス）でも気体でも CO_2

分子式の例

単原子分子

He (ヘリウム) Ne (ネオン) Ar (アルゴン)

二原子分子

H₂ (水素) O₂ (酸素) HCl (塩化水素)

多原子分子

H₂O (水) CO₂ (二酸化炭素) NH₃ (アンモニア)
CH₃OH (メチルアルコール)

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

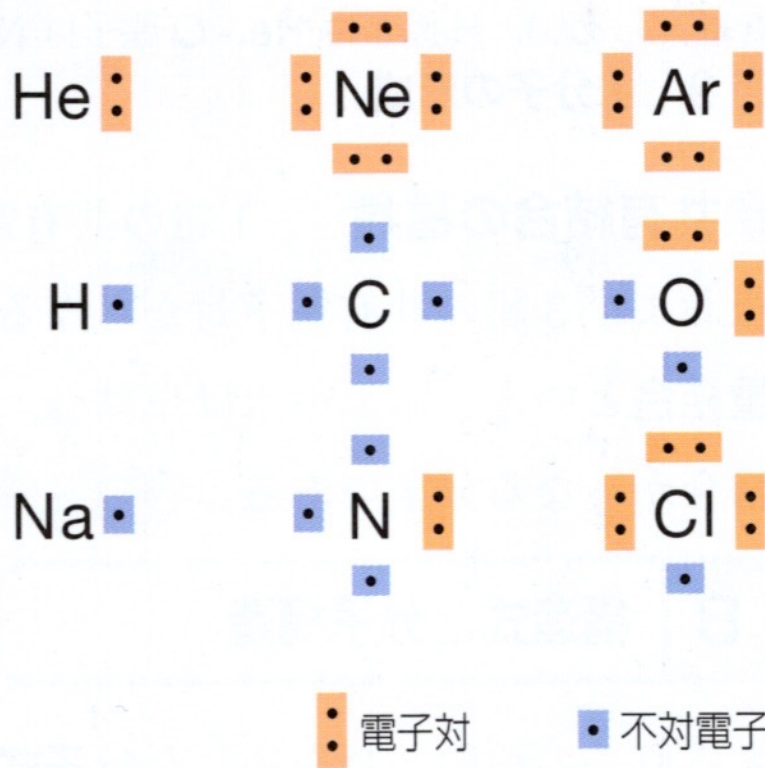
価電子の数		1	2	3	4	5	6	7	0
最外殻電子の数		1	2	3	4	5	6	7	8
電子式	周期 1	H·							He·*
	2	Li·	Be·	·B·	·C·	·N·	·O·	·F·	·Ne·
	3	Na·	Mg·	·Al·	·Si·	·P·	·S·	·Cl·	·Ar·

- ・ 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。

電子対と不對電子 p.58 図12



電子対と不對電子の
相対的な位置は変え
て示しても良い。

図 12 電子対と不對電子

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。

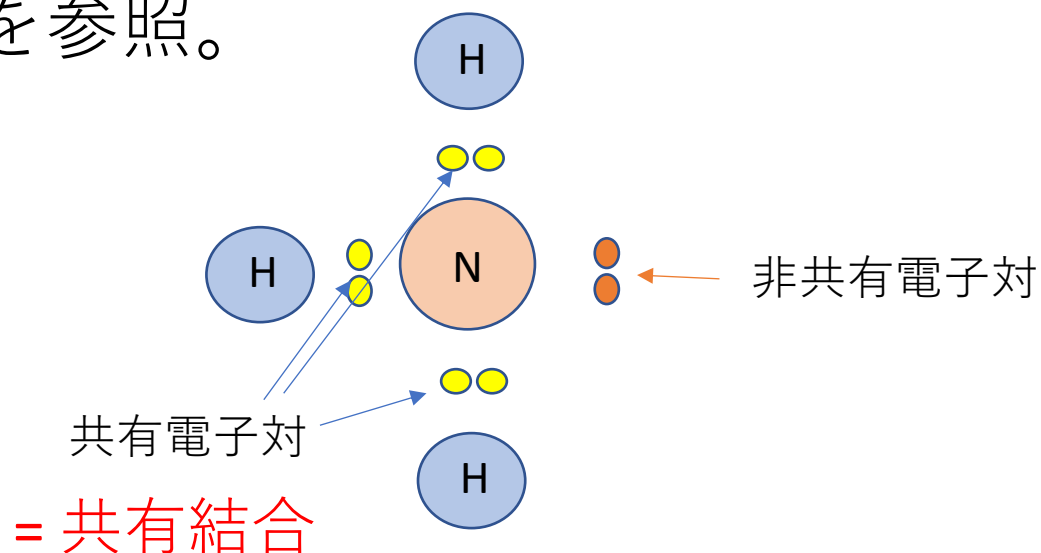
両者の不対電子は組み合わさって対をなし、両方の原子核の間に共有される。

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。

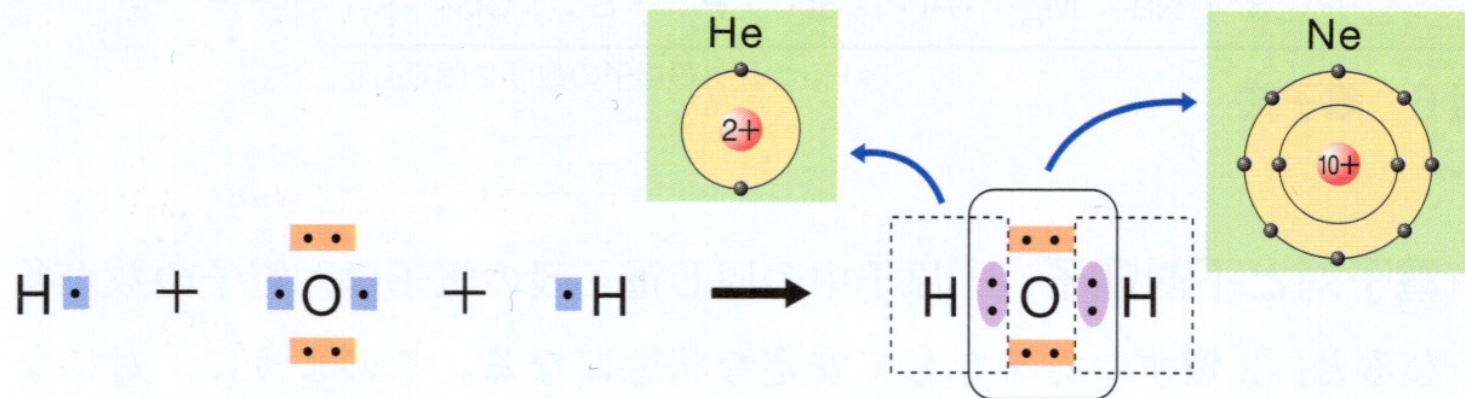
安定に存在する分子では、

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 H_2O では、 H 原子 2 個と 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、 H 原子は He 、 O 原子は 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

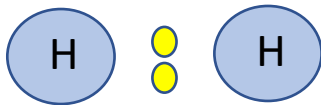
1 組の共有電子対からなる共有結合を単結合、
2 組の共有電子対からなる共有結合を二重結合、
3 組の共有電子対からなる共有結合を三重結合
という。

水素分子 H_2 、水 H_2O → 単結合

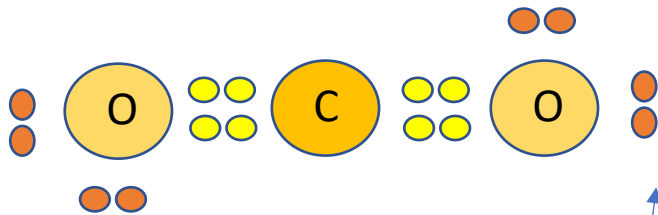
二酸化炭素 CO_2 → 二重結合

窒素ガス N_2 → 三重結合

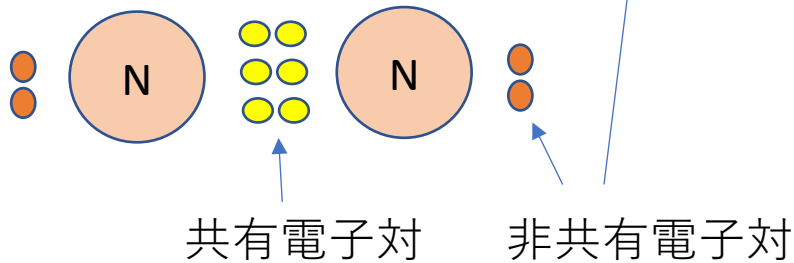
共有結合の種類



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

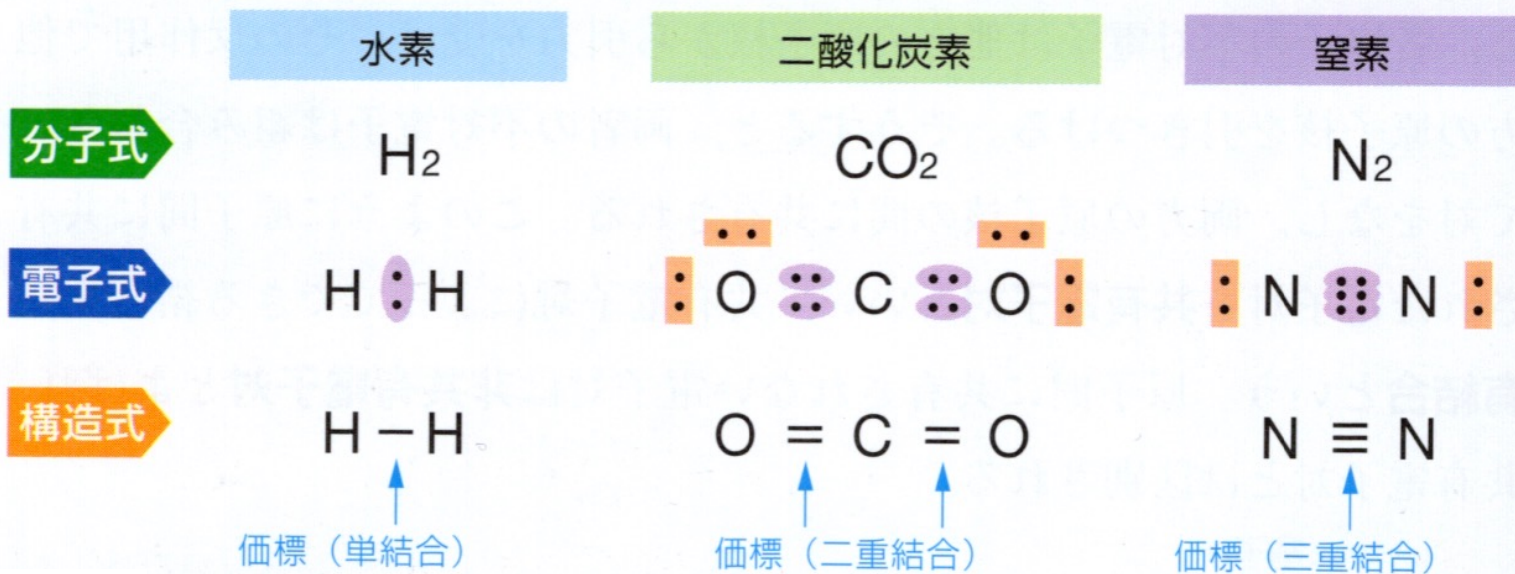


図 14 分子の表し方

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


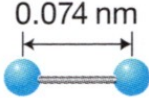

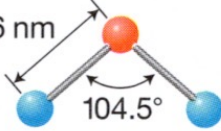

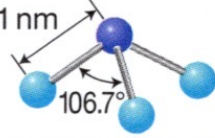
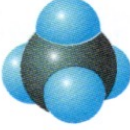
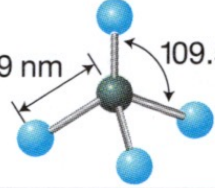
族	1	14		15		16		17		18	
原子	H—	—C—	—Si—	—N—	—P—	—O—	—S—	F—	Cl—	Ne	Ar
	H·	·C·	·Si·	·N·	·P·	·O·	·S·	:F·	:Cl·	:Ne:	:Ar:
原子価	1 価	4 価		3 価		2 価		1 価		0 価	

分子の構造 p.57 上、 p.62


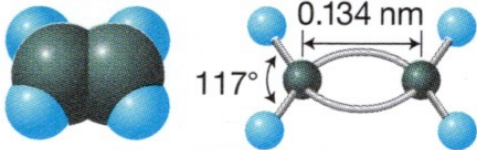
- 構造式は原子間の結合のみを示すもので、**実際にはそれぞれ固有の立体構造**がある。
- p. 62 表 4 分子の形 参照

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 ₂	H:H	H-H	  直線形
水 H ₂ O	H:Ö:H	H-O-H	  折れ線形
アンモニア NH ₃	H:Ñ:H H	H-N-H H	  三角錐形 <small>すい</small>
メタン CH ₄	H H:C:H H	H H-C-H H	  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 ₂	$\ddot{\text{O}}::\text{C}::\ddot{\text{O}}$	O=C=O	 0.116 nm 直線形
窒素 N ₂	$:\text{N}::\text{N}:$	N≡N	 0.110 nm 直線形
エチレン C ₂ H ₄	$\begin{array}{c} \text{H} & \text{H} \\ \vdots & \vdots \\ \text{C} & :: & \text{C} \\ \vdots & \vdots \\ \text{H} & \text{H} \end{array}$	$\begin{array}{c} \text{H} & & \text{H} \\ & \backslash & / \\ & \text{C} = \text{C} \\ & / & \backslash \\ \text{H} & & \text{H} \end{array}$	 0.134 nm 117° 平面形

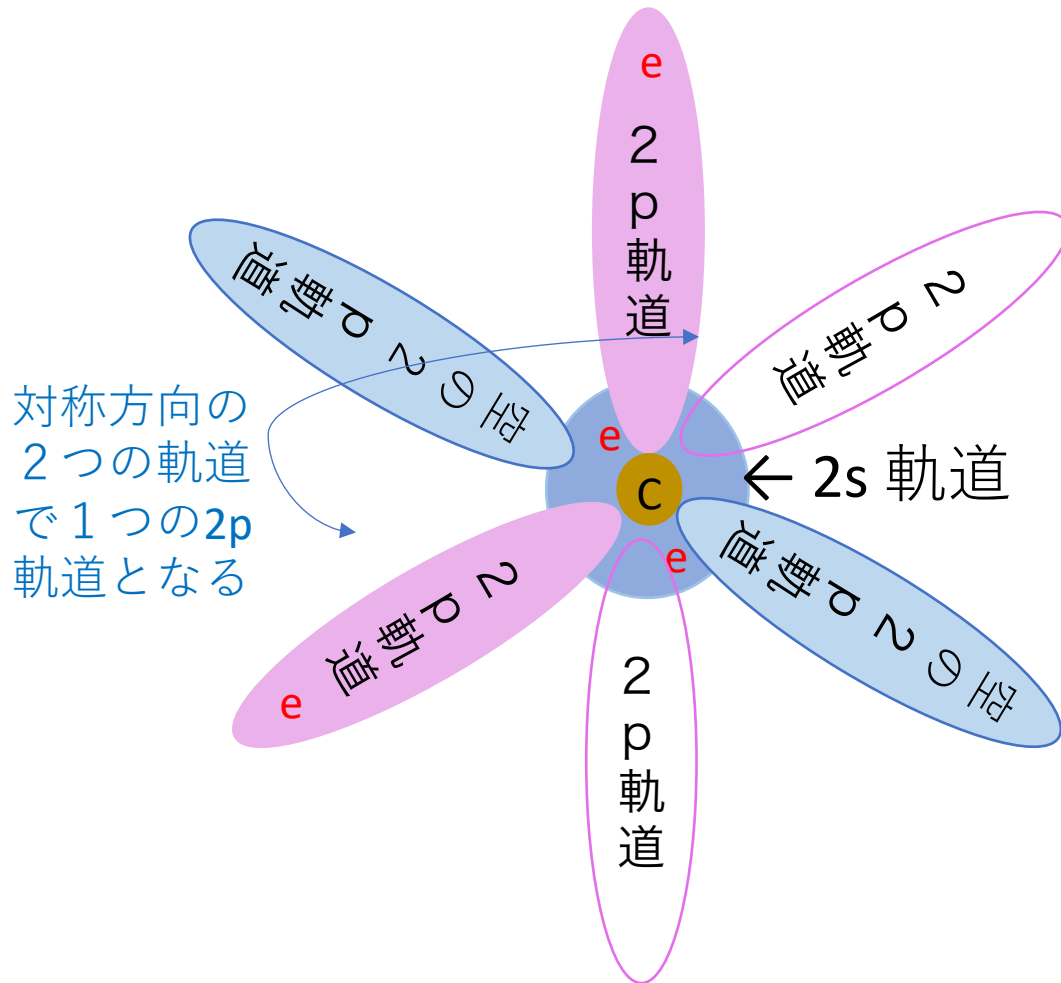
電子殻と軌道（復習）

- K 殻、L 殻、M 殻などの内部構造には、副殻として、s, p, d, f, . . . と呼ばれる軌道がある。
- K 殻内の電子は s 軌道 1 個内に存在する。
- L 殻内の電子は 2s 軌道 1 個と 2p 軌道 3 個内に配置される。s 軌道は球状、p 軌道はプロペラ状。
- 詳しくは教科書24ページの「参考」にある図や説明を読んでください。

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。

(例) 炭素原子の基底状態



この電子配置では炭素が4本の共有結合を作ることが説明できない。

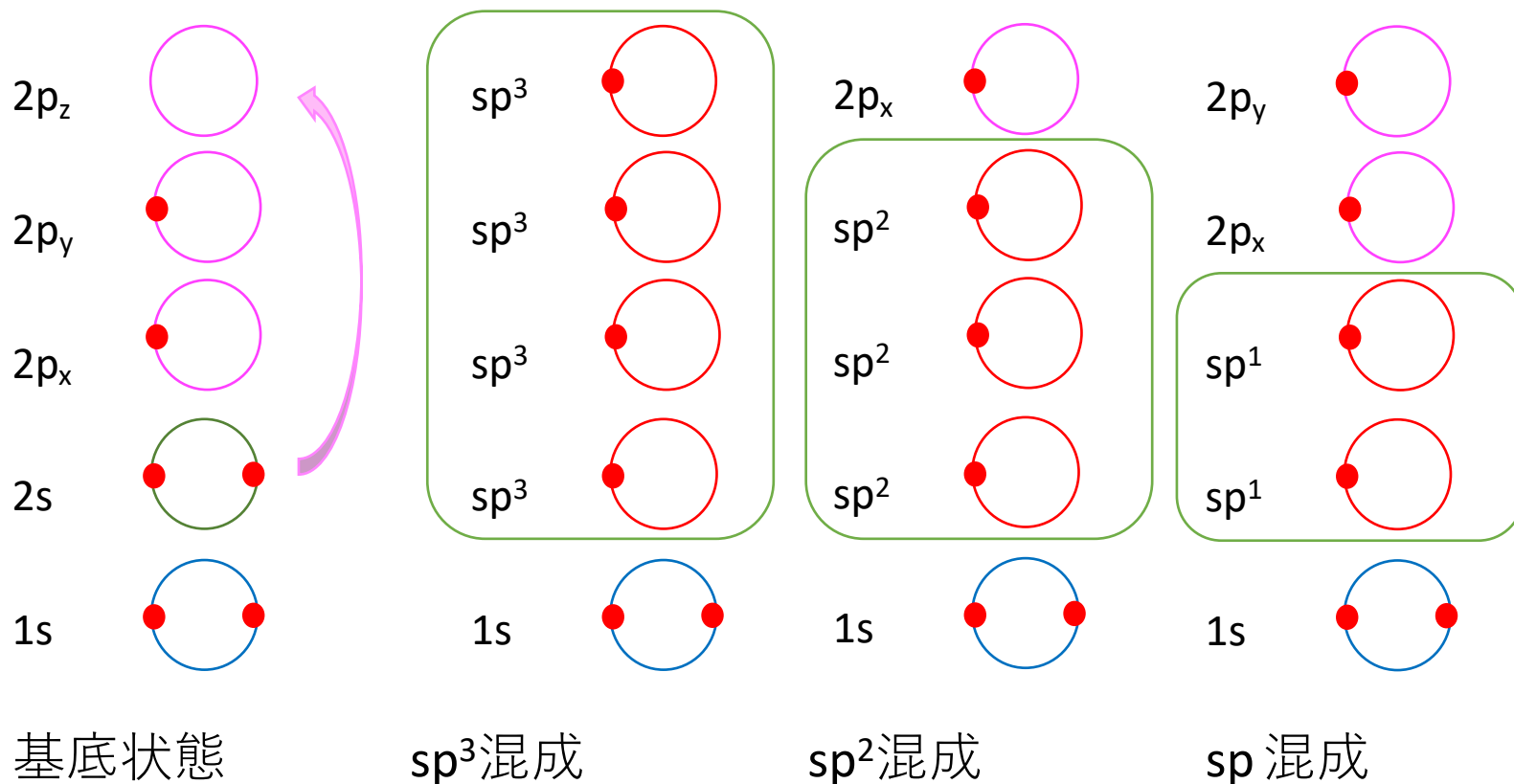


2s軌道の2個の電子のうち1個が空の2p軌道に移り、混成軌道を形成する。

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 _x	2p _y	2p _z
(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_z軌道へ昇位

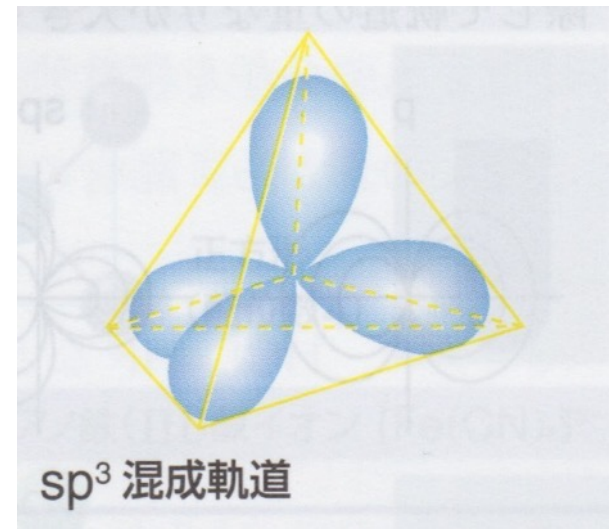


図2 炭素原子の電子配置

炭素原子の sp^3 混成軌道の形成

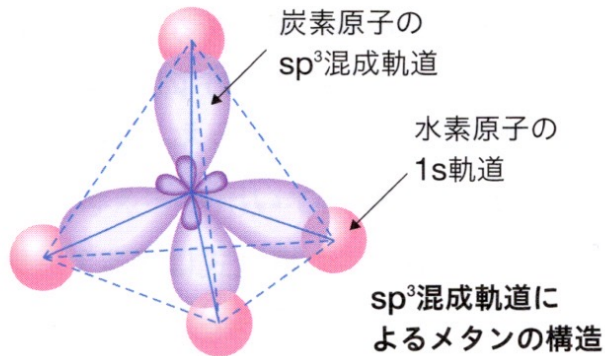
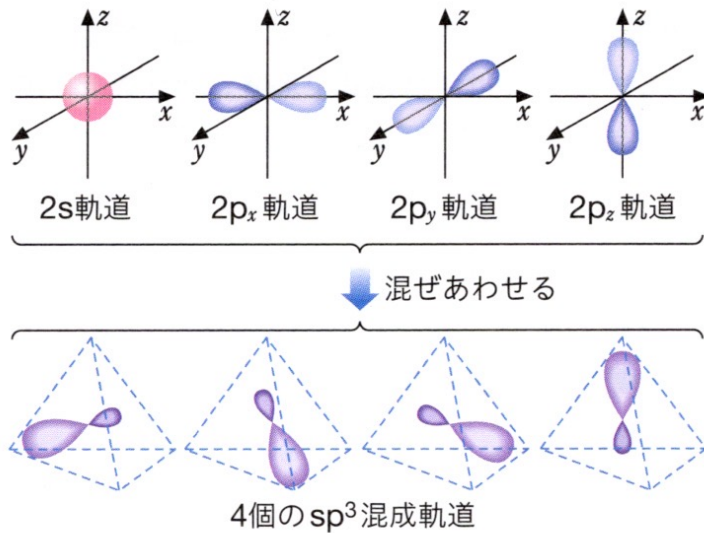
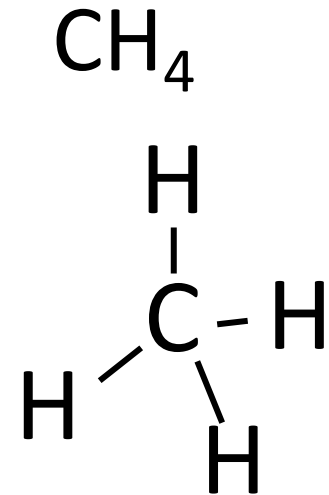
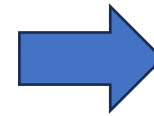
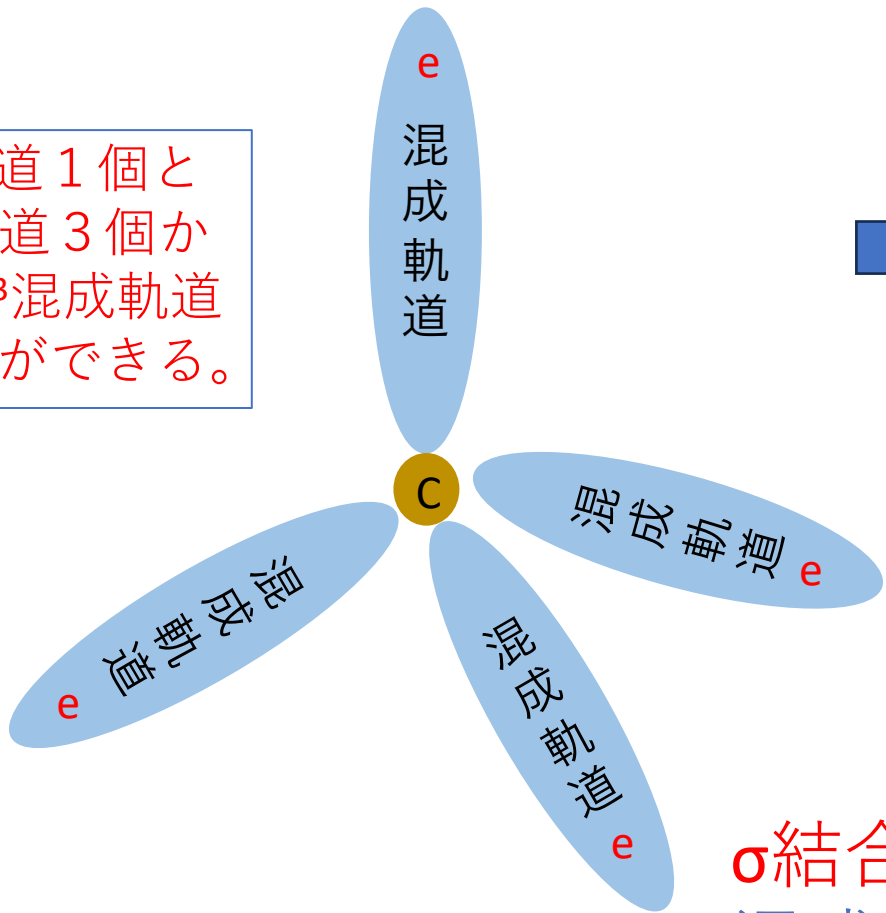


図3 sp^3 混成軌道の形成
それぞれの軌道は、電子の存在確率が高い空間領域を示している。

混成軌道： 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
4個ができる。

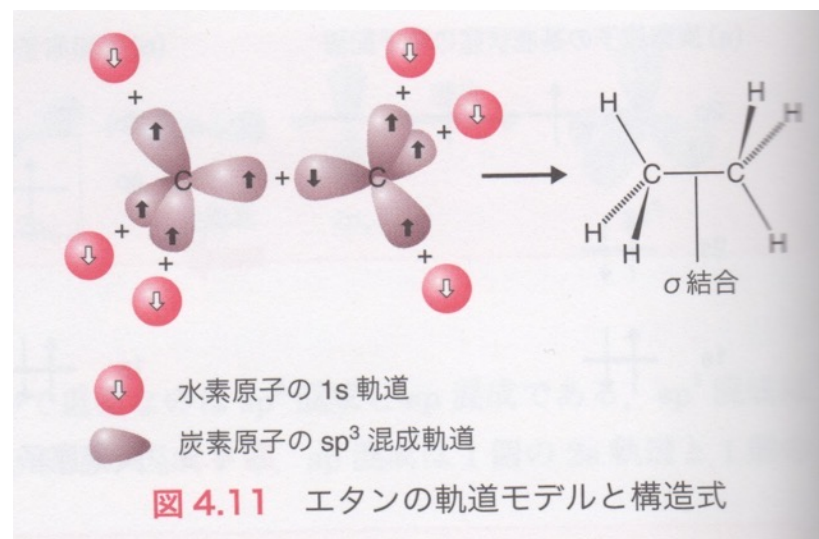
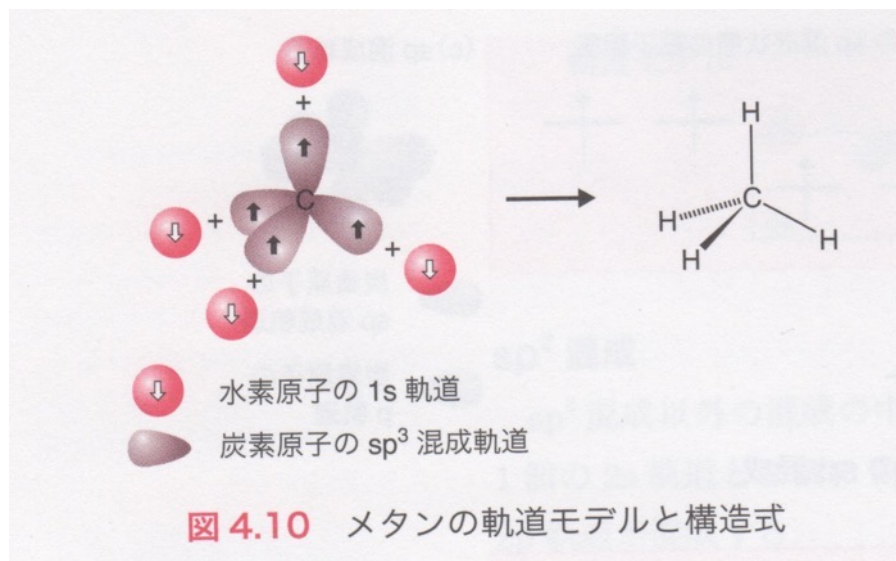


メタン

σ 結合

混成軌道が作る共有結合
のこと

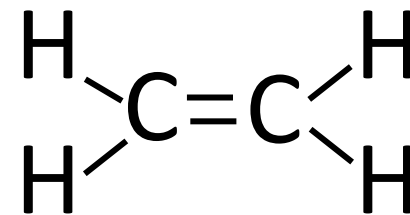
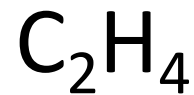
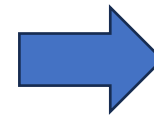
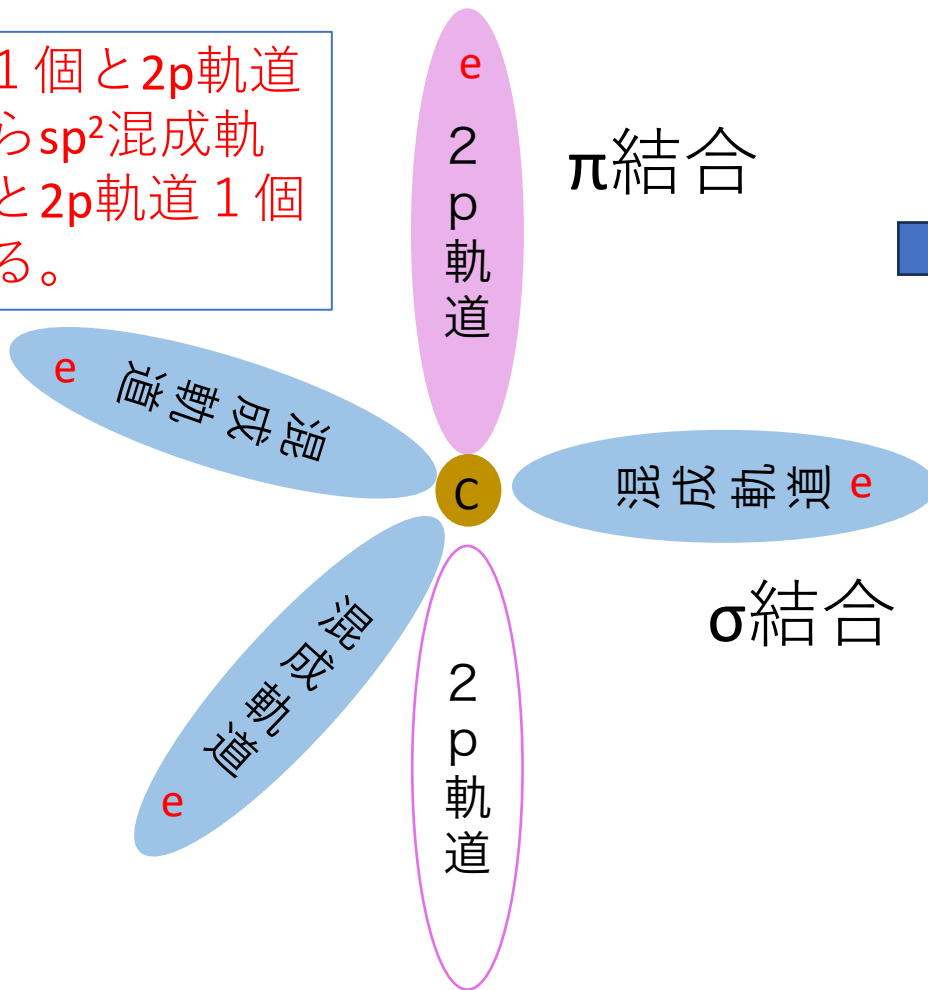
sp^3 混成軌道による結合



竹内敬人「ベーシック化学」(化学同人)より引用

混成軌道： sp^2 混成軌道

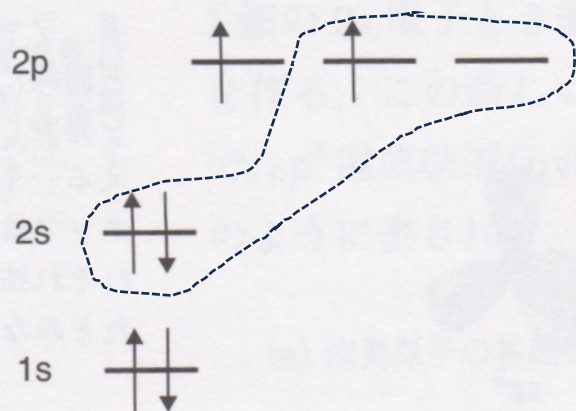
2s軌道 1個と2p軌道
3個から sp^2 混成軌
道 3個と2p軌道 1個
ができる。



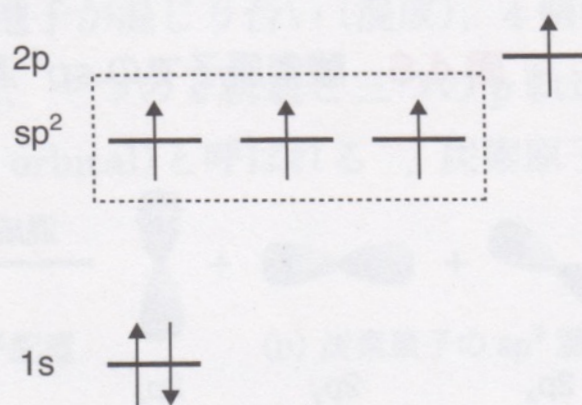
エチレン

sp² 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 sp² 混成状態の電子配置



(c) sp² 混成軌道

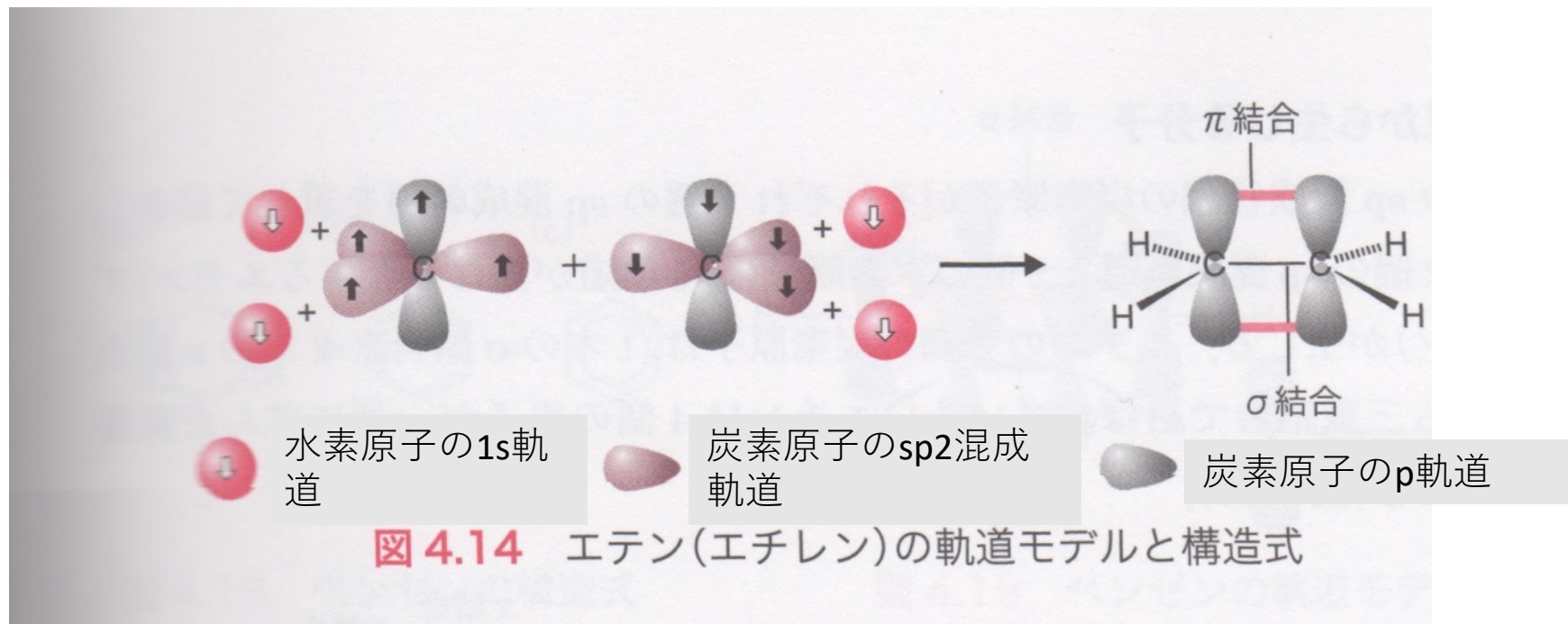


図 4.8 炭素原子の sp² 混成

2s軌道 1 個と 2p軌道 2 個が混成して sp²混成軌道 3 個になる。

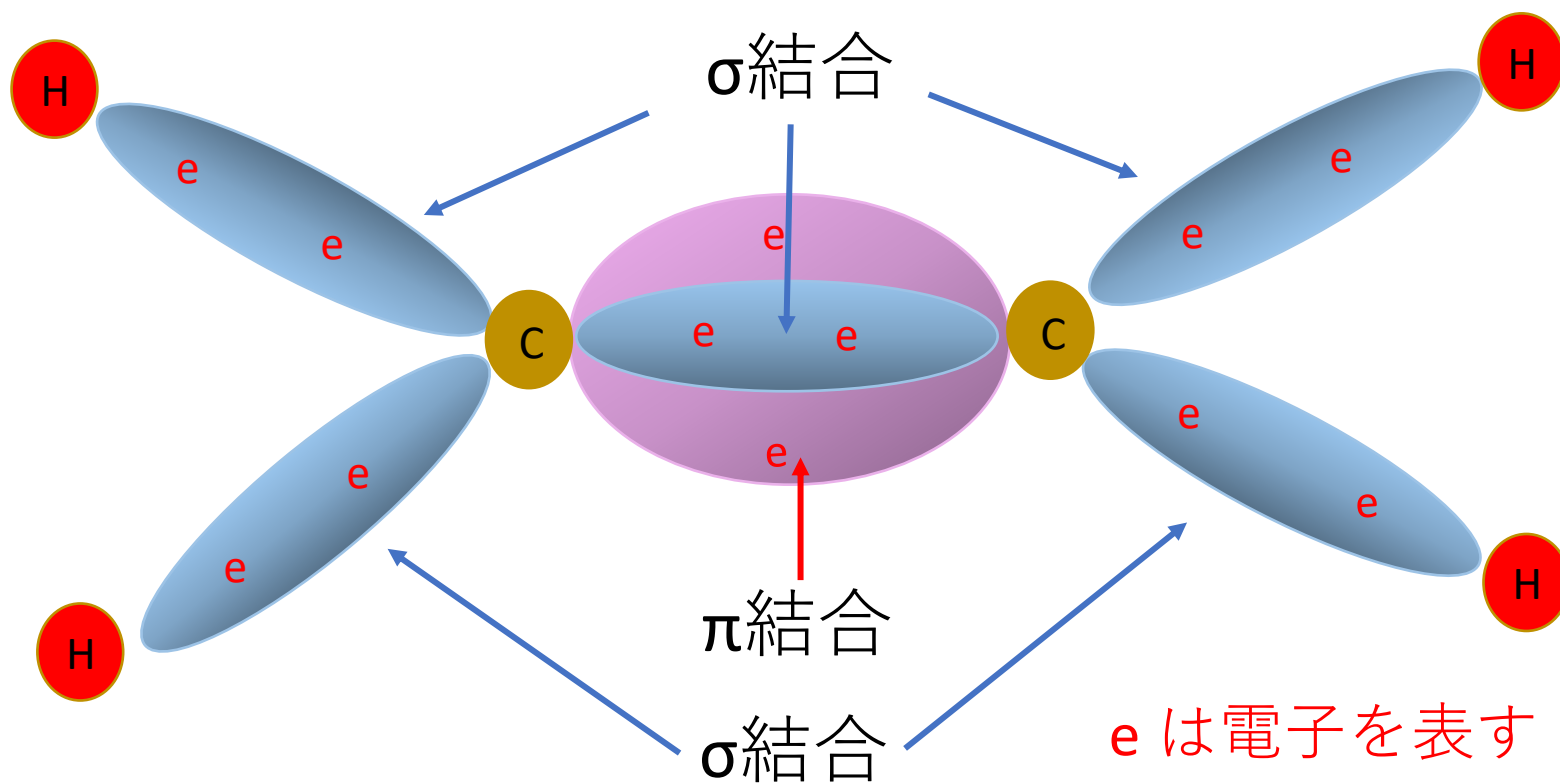
竹内敬人「ベーシック化学」(化学同人)より引用

sp² 混成軌道による結合



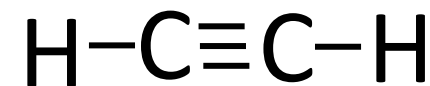
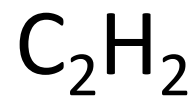
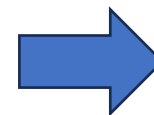
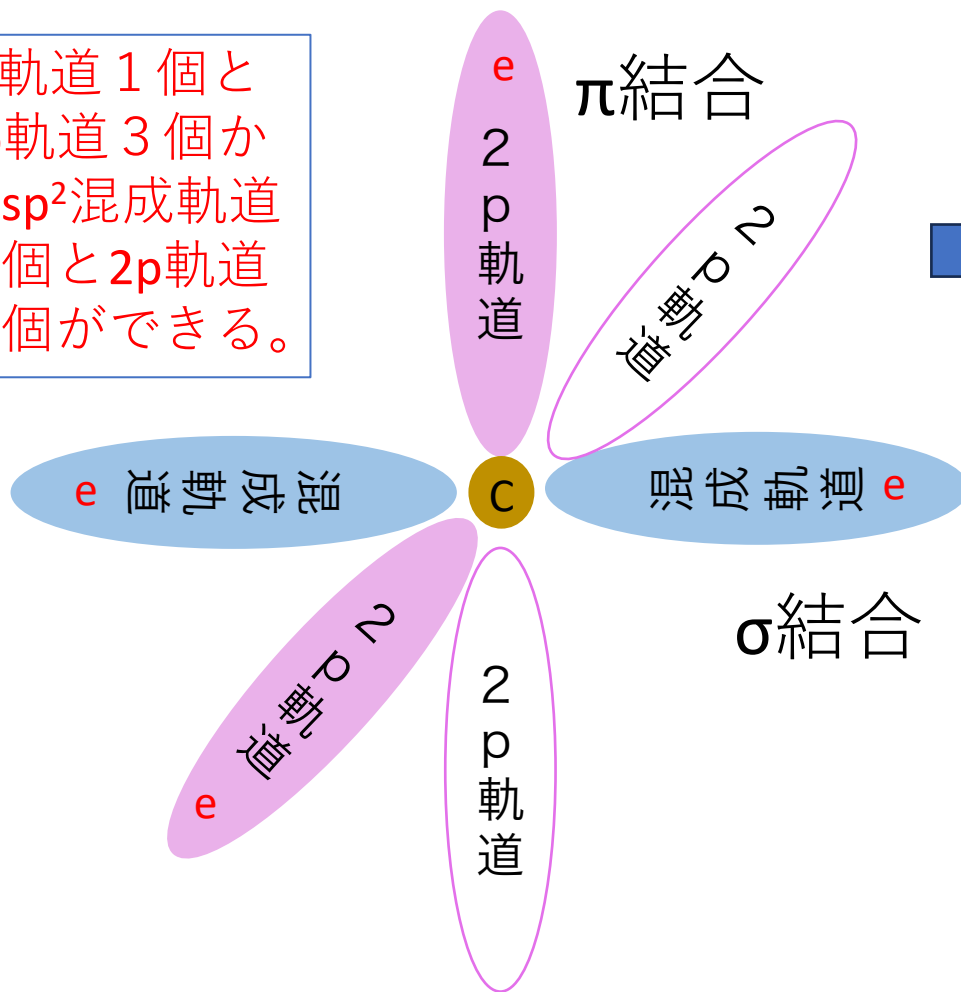
竹内敬人「ベーシック化学」(化学同人)より引用

sp²混成: σ 結合3個と π 結合 1 個 エチレンの場合



混成軌道：sp混成軌道

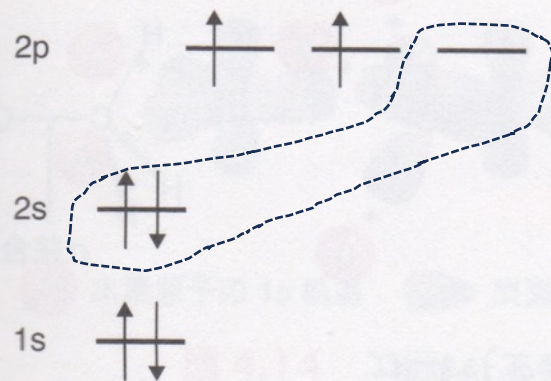
2s軌道 1個と
2p軌道 3個か
らsp²混成軌道
2個と2p軌道
2個ができる。



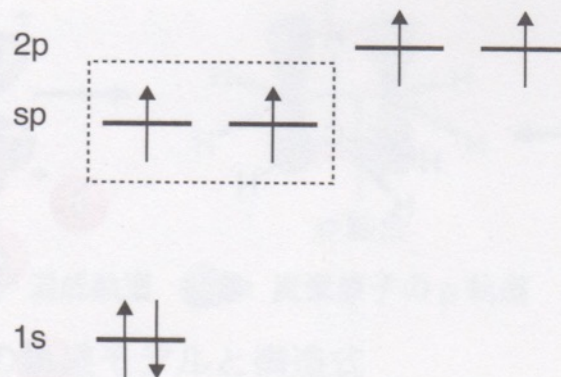
アセチレン

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

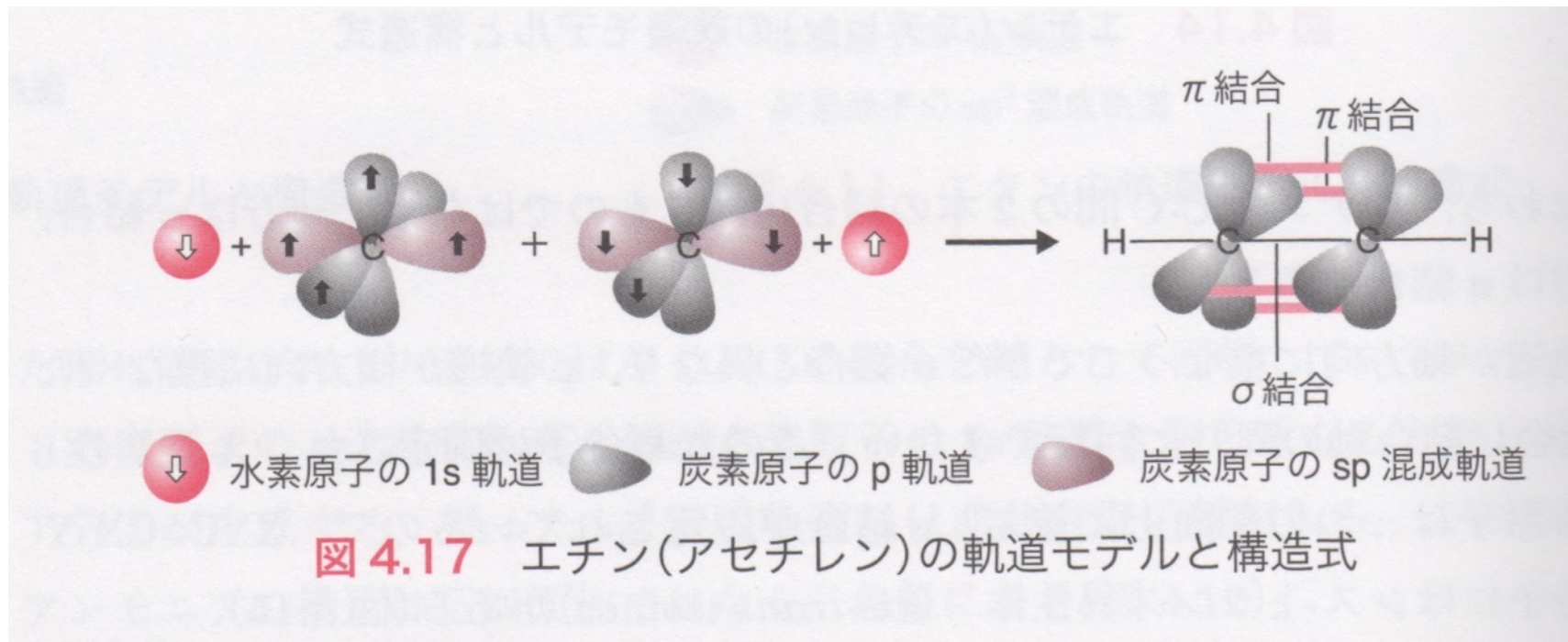


図 4.9 炭素原子の sp 混成

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。

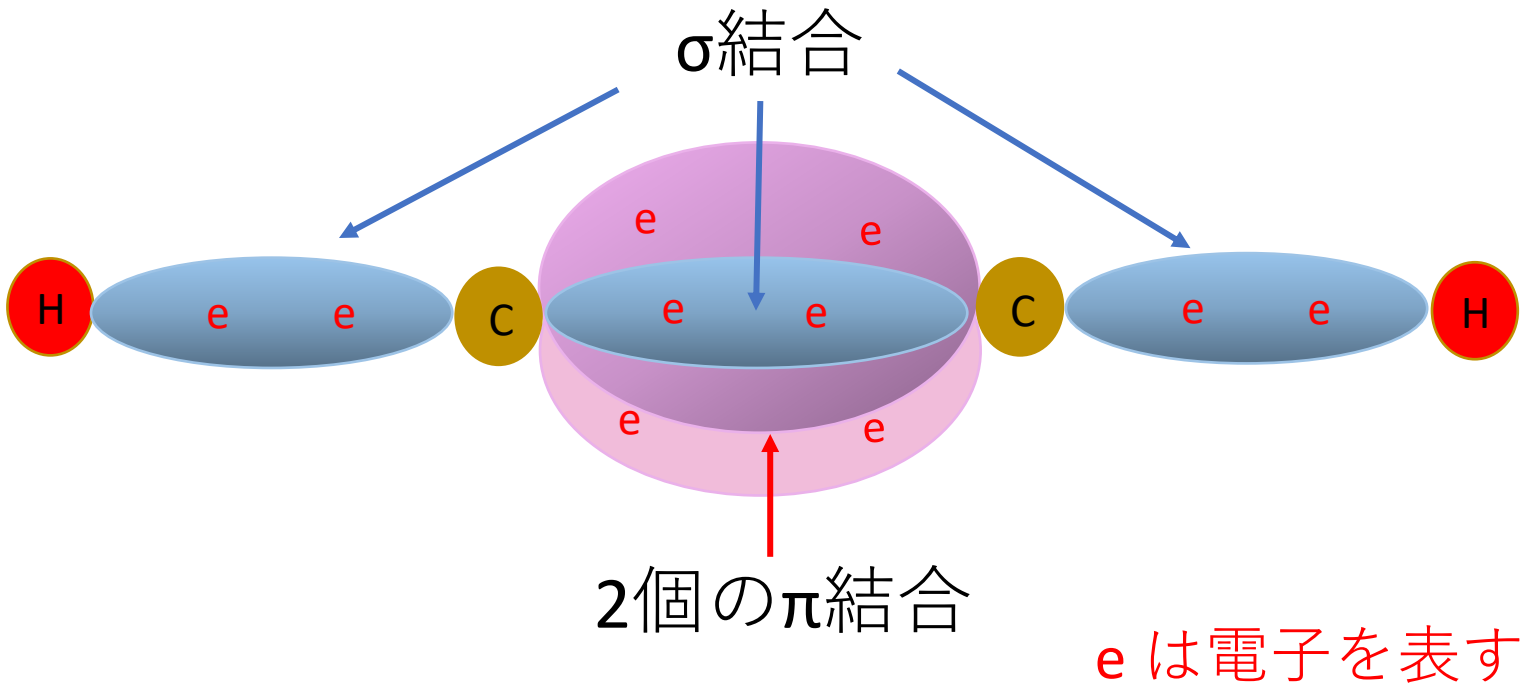
竹内敬人「ベーシック化学」(化学同人)より引用

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

sp混成： σ 結合2個と π 結合2個
アセチレンの場合



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；

kiyoshi@tsutsuki.net

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20日）の課題

- (1) 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。
- (2) イオン結合と共有結合の特徴をそれぞれ文章で説明しなさい。

メール宛先： kiyoshi@tsutsuki.net

メールのタイトルは、

「入門化学5/20課題、学籍番号、氏名」としてください。

期限： 5月25日（月）

帯広で見られるスミレ

エゾノタチツ
ボスミレ



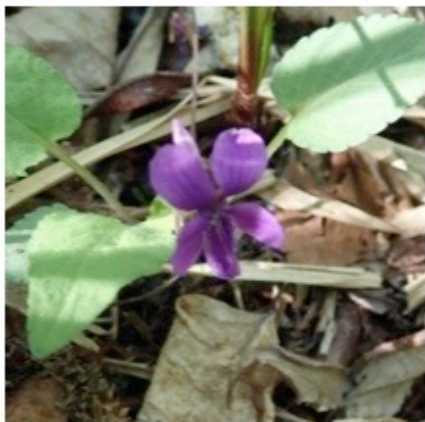
タチツボスミ
レ



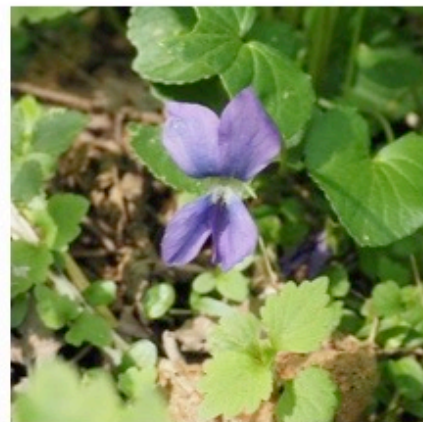
ツボスミレ



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）