

初期学習における化学教材の展開

(第4報)

——原子構造と化学結合の実践的展開——

金沢大学教育学部附属高校 中原吉晴

はじめに

化学カリキュラムの現代化……高等学校の初期学習において、化学の基礎的事項や概念をどのような指導で定着させるかは、指導者、学校の環境により異なるが、化学における学習内容の特異性や、現行の高校化学教育の問題点を検討した結果、新しい時代に適応できる化学教材展開の必要を感じ、モル（粒子性）概念に立脚した原子・分子の基礎的事項の発展とあわせ、必要に応じてエネルギー概念を導入する基本方針のもとに化学カリキュラムを構成し、昭和38年度から実践と反省をくり返してきた。

最近、CHEMS, CBA など新しいアメリカの化学教育が紹介されて以来、各地において熱意のある研究討議が重ねられ、そのうち、特にモル概念の統一、原子構造と化学結合、熱化学と化学平衡などが問題の焦点となっているようである。

今回、原子構造と化学結合をとりあげ、まず全体の単元構成の中で占める位置、次に本単元の主目的、その実践的展開の一部とその要旨を述べることにしたい。

1 教材展開の要点

大単元Ⅰ 化学の基礎知識

<単元の目的> 中学教材との関連を考慮し、化学の基礎的事項（原子・分子・イオン・化学式・化学反応の基本形式など）を復習、整理する。用いる化学反応式は、化学の基礎的知識の説明に適し、内容の理解も容易で、後の化学量の扱いにも重複適用できるものを精選する。

大単元Ⅱ アボガドロ数と化学量

<単元の目的> 原子・分子概念の確立を化学史的に取り扱い、あわせて基礎法則のもつ物理的・化学的意味を検討する。

モル概念は、粒子（原子・分子・イオン・電子）の集団（ 6.02×10^{23} 個）に統一し、まず式量の物理的意味の理解に重点をおく。気体の通性、気体分子の熱運動、溶液の性質など、基本実験をおりませ、できる限りモル概念を適用させ、化学量の取り扱いに習熟させる。

<副単元の項目> ○化学の基本法則 ○化学式と式量 ○気体の通性・気体分子の熱運動
○溶液の性質 ○化学式による量の取扱い。

大単元Ⅲ 原子構造と化学結合

<単元の目的> 原子の構造を明らかにし、核構造と原子量、核構造と核外電子の配列、と

くに価電子（副殻 s, p）の働きを中心として化学結合のなりたち、元素の示す周期性、周期表の見方、活用法などを知る。

＜副単元の項目と、教材展開の要点＞ ○原子の構造・原子核を構成する粒子（核子、陽子、中性子、単位電荷、原子番号、質量数、同位体と存在比、質量数と概略原子量、原子量の基準とアボガドロ数、同位体と質量欠損にもとづく原子量の物理的意味）

○価電子と化学結合：電子殻の構成—主殻と副殻、核外電子の埋まり方、電子配置よりみた典型元素と遷移元素、化学結合と価電子（s, p 軌道）の働き（イオン結合・共有結合・配位結合）電子配置と原子価、構造式（価標）と電子式

○元素の周期律：元素の周期律と価電子配置、族・周期と原子半径、価電子授受の強弱の度合い（イオン化エネルギー、電子親和力、酸化数の概念）周期表の基礎知識、典型元素と遷移元素の比較、長短周期表の活用（同族、同周期の単体、化合物の比較など）

2 実際授業における具体的展開例

1 原子量取扱いの要旨

同位体提出以前は、1 モル（ 6×10^{23} 個）の質量の数値。提出後は、同位体の存在比を考慮させ平均質量数で概略原子量を求めさせ、最後にエネルギー概念を導入した質量欠損を組み入れて原子量の物理的意味を理解させる。

例 同位体提出以前 原子量 = 1 モル（ 6×10^{23} 個）の原子が示す質量の数値 →
(大単元Ⅱ：化学式と式量)

例 同位体提出の後 原子量 = 同位体の存在比のもとで原子 1 モルが示す質量の数値 →
(大単元Ⅲ：原子の構造)

＜展開の留意点＞

(a) モル（ 6.02×10^{23} 個）を核子に適用し、平均質量数が概略原子量とほぼひとしくなることをつかませる。

大単元のⅢ、原子の構造で、原子核を構成する核子、同位体の存在比の学習後、次の問題で知識を整理させる。

……………＜整理の問題＞……………

- (1) 陽子と中性子は 1 個の質量が約 1.66×10^{-24} (g) である。陽子、中性子はそれぞれ 1 モル（ 6.02×10^{23} 個）が何グラムとなるか。
- (2) $^{12}_6\text{C}$ で表わされる炭素原子について次の問いに答えよ。
(イ) 質量数 (ロ) 陽子の数 (ハ) 中性子の数 (ニ) 核外電子数
(ホ) 原子核の正電荷 (ヘ) $^{12}_6\text{C}$ の炭素 1 モル（ 6.02×10^{23} 個）の質量
- (3) 自然界の炭素は、約 98.9% の $^{12}_6\text{C}$ と、1.1% の $^{13}_6\text{C}$ の数の比で存在している。この存在比のもとで炭素原子 1 個あたりの平均質量数を求め、炭素の原子量の数値と比較してみよ。
- (4) 質量数は 1 個の原子に含まれている核子の数で、質量ではない。また、原子量は、原子 1 モルの質量の数値である。それなのに平均質量数がおのおのの元素の原子量とほぼ等しい数値となるのはなぜか。

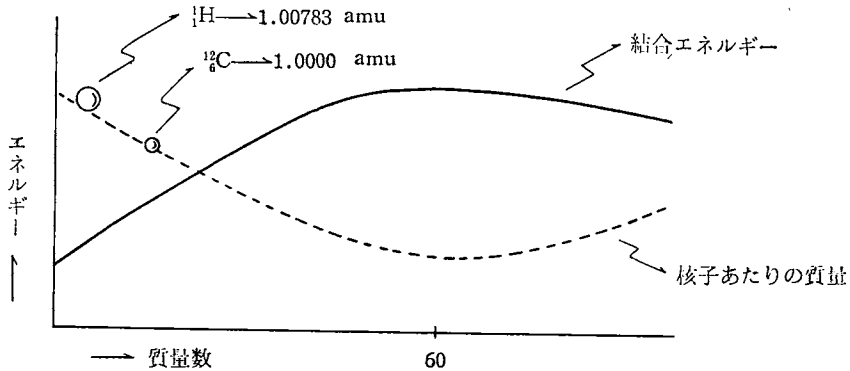
元素、原子、核子、1 モル、質量、平均質量数、存在比の用語を用いて 50 字以内

で答えよ。

- (5) もし、元素に同位体がなく、どの元素の核子もほぼ 1.66×10^{-24} (g) とすれば、元素の原子量はどんな数値を示すだろうか。

(b) $^{12}_6\text{C}$ の炭素が原子量の基準に選ばれ、現在のアボガドロ数が用いられていること、次に質量欠損の概念 (大単元II：化学の基礎法則の補説で、質量とエネルギーの互変は学習済み) を適用し、下図を用い核子 1 個あたりの質量 (エネルギーとみてもよい) が、質量数とともに増減することを知らせ、原子量が示す数値の物理的意味を理解させる。

<図> 核子 1 個あたりの結合エネルギー = (全結合エネルギー/核子の数)



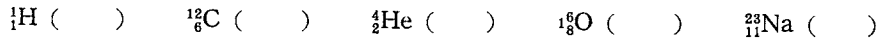
<図説> 質量数が異なると、原子核中の核子 1 個あたりの結合エネルギーが異なるため、微小であるが質量の増減 ($E=mc^2$, E : エネルギー, m : 質量 c : 光速) を伴う。質量数 1→60 前後までの原子では質量数が増すほど核子 1 個あたりのエネルギーが減少し (すなわち、外部にエネルギーを放出する→ 水爆) 質量も小さくなる。

図は、質量数を横軸に、核子 1 個あたりの質量を縦軸にとったグラフである。個々の原子核は多少の変動を示すが、だいたいの傾向は図にあらわされた曲線にのるものとして指導している。なお、曲線上に図示された核子の球の大小は説明のための便宜的なものである。

炭素の原子量は、 $^{12}_6\text{C} : ^{13}_6\text{C} = 98.9 : 11.1$ の存在比のもとで示す炭素の元素 1 モルの質量 = 12.01 (g) この 12.01 が炭素の原子量の数値となる。

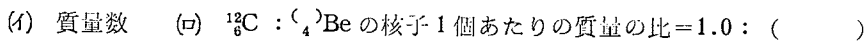
……………<整理の問題>……………

- (1) 次にあげてある原子の核子 1 つあたりの質量が最も大きいもの (1 とする) から小さいもの (順に 2, 3 ……の数字を入れる) へと示しなさい。



- (2) 酸素は $^{16}_8\text{O} : ^{17}_8\text{O} : ^{18}_8\text{O} = 99.759 : 0.037 : 0.024$ の存在比であるのに、なぜ原子量 = 15.9995 と 16 よりも小さい数値を示すのか、その理由を考えよ。

- (3) 原子番号 4 (原子量 9.0122) のベリリウムには同位体がない。これより次の問いに答えよ。



- (4) $2^1_1\text{H} + 2^1_0\text{n} \rightarrow ^4_2\text{He}$ の核反応がおこなわれたものとして 1 モルの ^4_2He が生成するとき、発生するエネルギーを kcal 単位で答えよ。

ただし $^1_1\text{H} = 1.00783$ $^1_0\text{n} = 1.00867$ $^4_2\text{He} = 4.0015$ として計算せよ。

3 核外電子の配置と化学結合

<要点> 核外電子の配列から閉殻構造の安定性を知らせ、原子は結合にさいし価電子の授受（イオン結合）、価電子の共有（共有結合）、不対電子の配位（配位結合）により、互いに閉殻構造を完成するように働くことを理解させる。

1 電子殻（主殻・副殻）の許容電子殻

(a) 原子は全体として電気的に中性であり、原子番号（陽子の数）と核外電子の数は相等しい。

(b) 核外電子は、原子核をとりまいている電子殻（層状）に配置される。電子殻は核に近いところから、K殻、L殻、M殻、N殻と名付け、核外電子のエネルギーは、 $K < L < M$ 殻……と順に大となる。

(c) 主殻は、いくつかの副殻からなり、副殻に埋められていく電子は $s \rightarrow p \rightarrow d \rightarrow f$ の順（すなわち、電子のエネルギーは $s < p < d < f$ と順に大となる）で、この s 、 p 、 d 、 f の各副殻に入りうる電子の数の限度は $s = 2$ 、 $p = 6$ 、 $d = 10$ 、 $f = 14$ までである。

<表1> 電子殻（主殻・副殻）の許容電子を示す表

電 子 殻	主殻の名称	K殻	L殻	M殻	L殻
	主殻の(番号)	(1)	(2)	(3)	(4)
	副殻の軌道数	1つ	2つ	3つ	4つ
	軌道の記号	1s	2s 2p	3s 3p 3d	4s 4p 4d 4f
	許容電子数	2	$\underbrace{2 \quad 6}$	$\underbrace{2 \quad 6 \quad 10}$	$\underbrace{2 \quad 6 \quad 10 \quad 14}$
	許容電子の総数	2	8	18	32
	$2 \times (n)^2$	$2 \times (1)^2$	$2 \times (2)^2$	$2 \times (3)^2$	$2 \times (4)^2 = 32$

2 核外電子の埋められていく順序

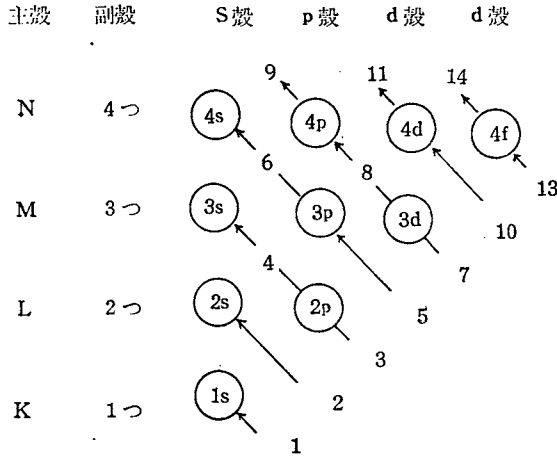
(a) 各副殻のうち、エネルギー順位の低いところから順に埋められてゆく、同じ主殻内（例 $n=3$ ）では、核外電子のエネルギーは、 $3s < 3p < 3d$ と高くなっている。

例 エネルギー順位 $1s < 2s < 2p < 3s < 3p < 4s < 3d < 4p < 5s \dots$ (図1)

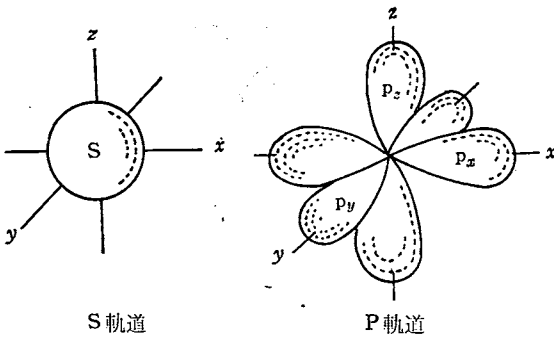
(b) 原子のスペクトル（核外電子のエネルギー状態）に磁場に働かせると、 s スペクトルは影響を受けないが $p \cdot d$ スペクトルのエネルギー順位に変化を示すことから p 殻は3つ、 d 殻は5つの規道（orbitalで、orbitではない）が存在することが予測された。

これから、磁気量子数の示す物理的意味、すなわち核外電子の軌道（電子雲）の空間方向性と、量子胞（副殻の各 s 、 p 、 d 、 f 内の単位軌道）の数を知らせる。…… (図2)

<図1> 電子の埋められていく順序



<図2> 空間的な軌道の方向性

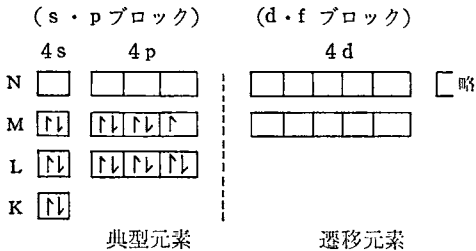
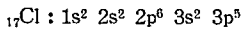


例 S^2, P^3 の価電子配置は $\boxed{\uparrow\downarrow} \quad \boxed{\uparrow} \boxed{\uparrow} \boxed{\uparrow}$ であり $\boxed{\uparrow\downarrow} \quad \boxed{\uparrow\downarrow} \boxed{\uparrow} \boxed{\uparrow}$ ではない。

3 電子配列による典型元素 (s・pブロック) と遷移元素 (d・fブロック)

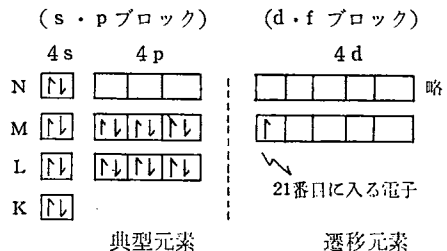
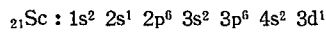
<要点> 核外電子の埋まり方とあわせて、核外電子の配置による典型元素と遷移元素の区別を副殻の s・p と d・f により理解させる。

例 典型元素 ($_{17}\text{Cl}$) の電子配置



◆ 典型元素 (s・pブロックの元素)

例 遷移元素 ($_{21}\text{Sc}$) の電子配置



◆ 遷移元素 (d・fブロックの元素)

あたらしく埋められていく電子がs殻、またはp殻に入るすべての元素がこれにあたる。

典型元素では、あたらしく埋められていく電子が、必ず最外電子殻（主量子数n最大）に配置されるから、この電子は価電子で、価電子数と周期表の族番号とは一致する。（希ガスは別）

典型元素は金属（価電子数少）と非金属（価電子数多）とがある。

あたらしく埋められていく電子がd殻、またはf殻に入るすべての元素がこれにあたる。

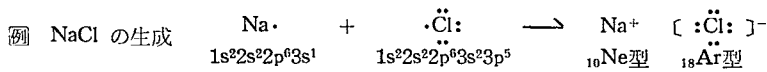
遷移元素は、すでに（先に）最外殻の電子（上図では4sの価電子をさす）が埋められており、のちに内側のd殻またはf殻に電子が埋められていく一群の元素をいう。（s・p-d・fブロックによる周期表：本文末参照）

遷移元素は、すべて金属である。

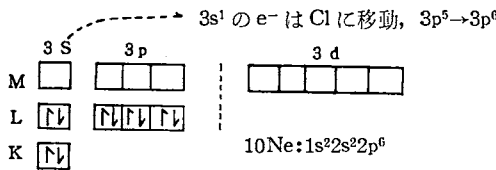
4 化学結合と価電子の働き

<要点> 原子は、すべて閉殻構造（各主量子数におけるs・pブロックの完全充填）、すなわち、希ガス（例、 ${}_2\text{He}$, ${}_{10}\text{Ne}$, ${}_{18}\text{Ar}$ 型……）の電子配置をとるように働く。

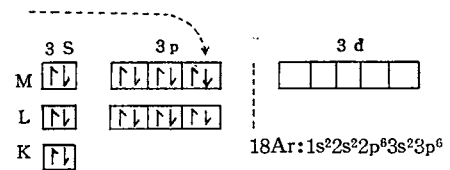
(a) **イオン結合** 価電子の授受（やりとり、移動）による静電引力で結合するため、最外電子殻（電子雲）は重ならず、結合に方向性がない。



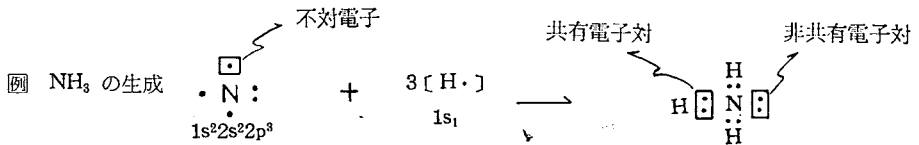
例 Na^+ (${}_{10}\text{Ne}$ 型) の電子配置



例 Cl^- (${}_{18}\text{Ar}$ 型) の電子配置

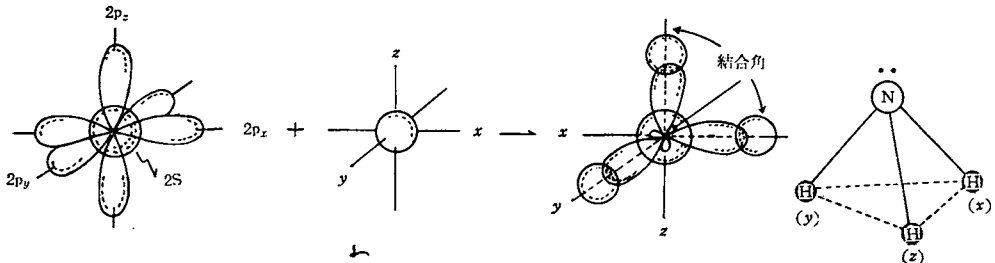


(b) **共有結合** 閉殻構造をとるために、互いに価電子（不対電子）を補充しあい、電子対による最外電子殻を共有（すなわち、電子雲の重なり）する結合形式。このため、結合に方向性を持ち、結合角を生ずる。



NH_3 中の H は He 型 ($1s^2$)、N は Ne 型 ($1s^2 2s^2 2p^6$) を型成し、安定した閉殻構造となっている。

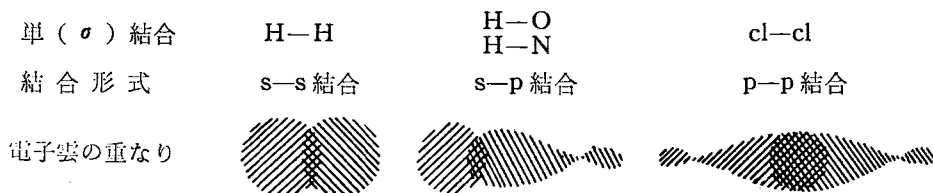
<図説> NH_3 の分子モデル（三角錐構造）



<留意点> 1. 共有結合は、2原子の電子雲（不対電子）の重なりにより、2つの原子核間により大きな電子密度が形成され（低エネルギー状態を意味する）、電子の存在確率性が2つ

の原子核を中心とする一定の空間内に制限された状態の化学結合，つまり，局在の現象 (localize) のため，結合の方向性，結合角を示す。(この単結合は σ 結合)

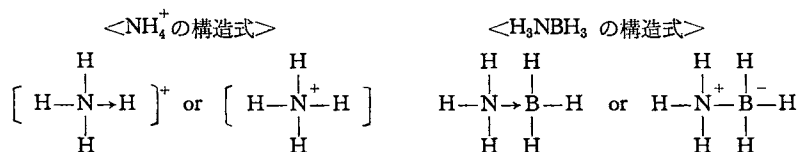
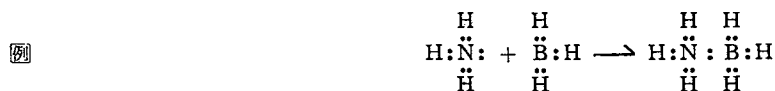
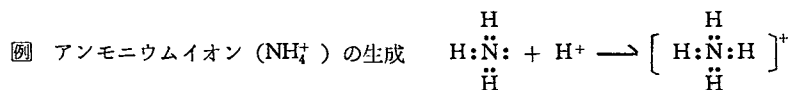
2. 単 (σ ・シグマ) 結合の種類



3. NH_3 , H_2O の結合は， sp^3 混成軌道による結合として説明されているが，ここでは C・B・A 化学のごとく，まず，単結合による s—p 結合として指導し，おおまかな結合角の説明に活用する。

(c) 配位結合 一方の原子 (イオン・分子) から相手の原子 (イオン・分子) に一方的に非共有電子対 (lone pair) を供給して最外電子殻 (電子雲) が共有される形の結合をいう。

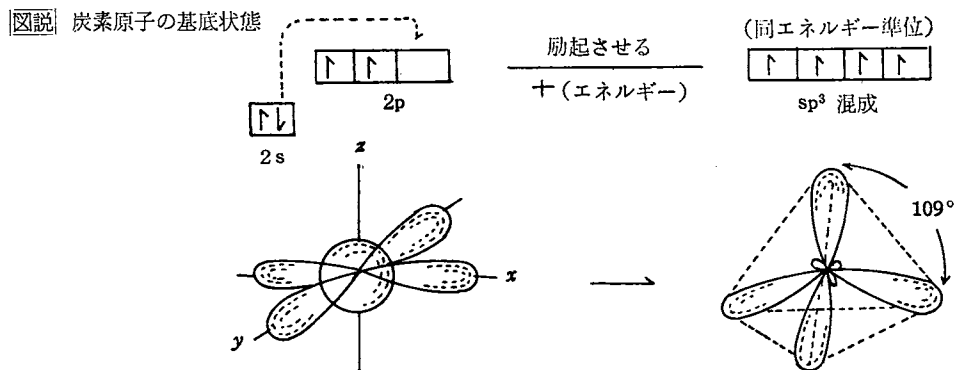
配位結合の記号は \rightarrow で表わし， $\text{A} \rightarrow \text{B}$ の場合は lone pair が A から B に与えられたことを示す。また， $\text{A} \rightarrow \text{B}$ の表現を $\text{A}^+ - \text{B}^-$ として表わすこともある。



5 軌道の混成と二重・三重 (π ・パイ) 結合

<要点> 励起状態の炭素原子は軌道の混成 (2s 準位の電子が不対電子となり，その1個が 2p 準位に昇位する) により，4 価の原子価を示す。

(a) 軌道の混成

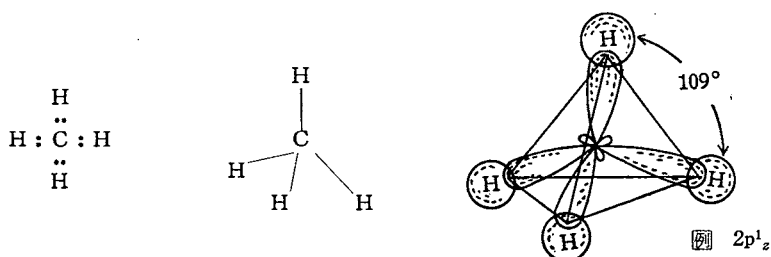


<留意点> 1. 炭素原子の sp^3 軌道の混成は等価（同エネルギー準位）の4価を示す。

CH_4 や CCl_4 の H や Cl の物理的・化学的性質が同じである実験事実と、炭素の原子価が4価を示すことから、炭素原子は、s軌道の1電子とp軌道の3電子間で全くあたらしい軌道の混成がおこり、4つの等しい（同エネルギー準位をもつ、同じ物の電子雲） sp^3 混成軌道が形成される。

この4つの軌道では、電子雲は互いに反ばつし、正四面体の角に向う。この結合角は 109° 、こうして等価の4を示す。

例 CH_4 の電子式・構造式・分子オービタルモデル

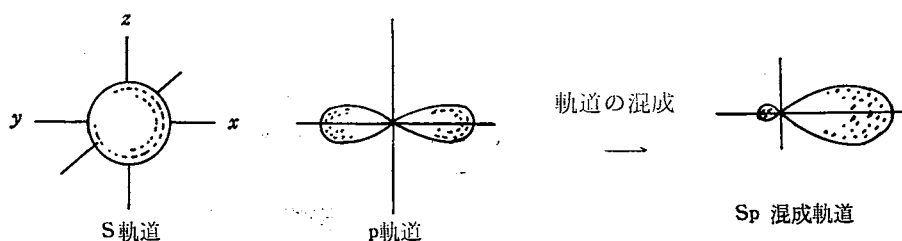


2. 普通、 sp^3 混成軌道は、 $2s^2 2p^1_x 2p^1_y \rightarrow 2s^1 2p^1_x 2p^1_y 2p^1_z$

すなわち 2s 2p のごとく、軌道を分けて表示してあるが、これではエネルギーの異なる2つの orbital が独立的に存在するイメージを与える恐れがあるので、指導のさいは便宜的に $\boxed{\uparrow} \boxed{\uparrow \uparrow \uparrow}$ で表わし、orbitalの等価性を強調している。

なお、 $\boxed{\uparrow \uparrow} \boxed{\uparrow} \boxed{\uparrow}$ の表示は、電子のエネルギー準位が $2s < 2p$ であることを示している。

3. 軌道が混成されると、全くあたらしい電子雲が形成される。

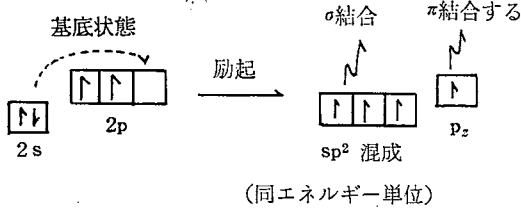


(b) 二重・三重結合と π (パイ) 結合

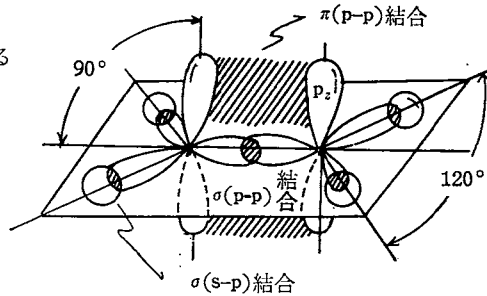
<要点> 二重結合は、平面的な sp^2 混成軌道、三重結合は直線的な sp 混成軌道、いずれも1つは σ (シグマ) 結合で、残りの不対電子が π (パイ) 結合となる。

<1> 二重結合 二重結合は sp^2 混成軌道で、1つのs軌道と2つのp軌道からなる結合角 120° の平面軌道 (σ 結合は3つ) に対し、残された1つの不対電子が sp^2 混成軌道面に垂直な方向に配置される。

例 炭素原子の sp^2 混成軌道の概念理解のための電子配置図



例 C_2H_4 の分子モデル

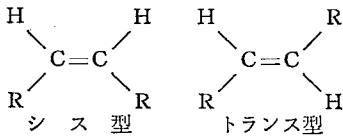


<留意点> 1. 混成に含まれていない半充填 (不対電子, ここでは p_z をさす) オービタルの側面重なりによる電子雲結合を π (パイ) 結合という。

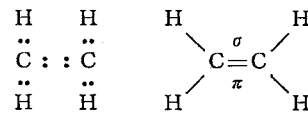
2. 結合エネルギー π 結のエネルギーは σ 結合のそれよりも弱い。 π 結合は σ 結合と異なり結合軸のまわりに原子の自由な回転が許されない。これは2つの基 $CH_2=$ をねじろうとすると側面重なり電子雲密度が減少 (すなわち電子のポテンシャルエネルギーを高める) するからである。

エチレン系炭化水素に幾何異性 (シス・トランス型) が存在するのも、この π 結合により説明することができる。

例 エチ系化合物のシス・トランス型

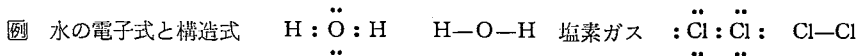


例 C_2H_4 の電子式と構造式



3. 電子式と構造式 共有電子対: を一で表わしたものが構造式。電子式は元素記号に価電子の数だけの点をそえて表わしたものであるのに対し、構造式は結合にあずかっている1組の電子対 (すなわち:) を1本の結合線 (すなわち, 一のこと, 価標という) で表わす。

構造式では結合に使われていない価電子は書かず, σ 結合も π 結合も表現上区別しない。

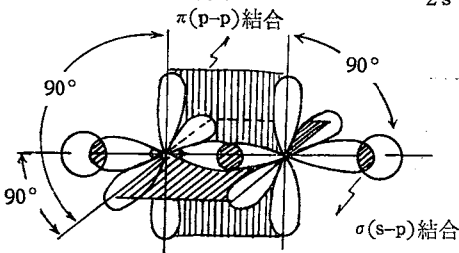


<2> 三重結合 三重結合は sp 混成軌道で, 1つの s 軌道と1つの p 軌道からなる直線型をとり, 残された2つの不対電子が直線軸に垂直となり, 互いに 90° の開きをもち, 下図のごとく π 結合を形成する。

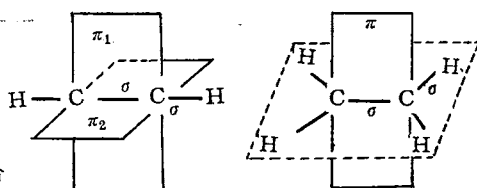
例 炭素原子の sp 混成軌道の電子配置図



例 C_2H_2 の分子モデル



例 C_2H_2, C_2H_4 の簡略化分子モデルの図示法



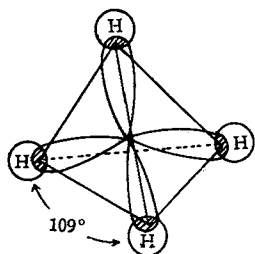
<留意点> 1. 分子の形 一般的に σ 結合をつくるオービタルの立体配置により大きく左右される。

2. 混成にあずからないp電子(不対)は、電荷による反ばつが最も少くなるような空間配置をとろうとする。

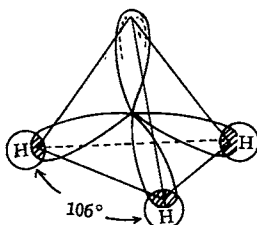
一般に、電子雲同志の反ばつ力は、次の順に小さくなる。

2つの非共有電子対の間の反ばつ力 > 非共有電子対と結合電子対の間の反ばつ力 > 2つの結合電子対の間の反ばつ力

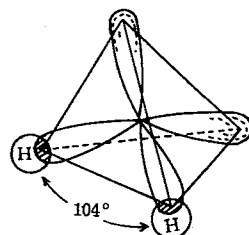
例 CH_4 の結合角 ($\angle\text{HCH} \approx 109^\circ$) NH_3 の結合角 ($\angle\text{HNH} \approx 106^\circ$) H_2O の結合角 ($\angle\text{HOH} \approx 104^\circ$)



炭素原子 CH_4 分子は、 Sp^3 軌道の混成(正四面体)により水素原子から得た4電子をもち、



窒素原子 NH_3 分子は、水素原子から得た3電子をもち、四面体的に軌道を混成すると考えられる。



酸素原子 H_2O 分子は、水素原子から得た2電子をもち、四面体的に軌道を混成すると考えられる。

3. 結合エネルギーと反応力(置換反応・付加反応)

<要点> 結合エネルギーの大小の比較から、置換反応より付加反応が起こりやすいことを理解させる。

<表> 分子内における原子間の結合エネルギーと原子間距離

分子	結合	原子間距離(Å)	結合エネルギー
アセチレン C_2H_2	$\text{C}\equiv\text{C}$	1.20	128.1 (kcal/mol)
エチレン C_2H_4	$\text{C}=\text{C}$	1.34 (大)	101.2
ベンゼン C_6H_6	$\text{C}=\text{C}$	1.40 (大)	88
CmH_{2m+2} , ダイヤモンド	$\text{C}-\text{C}$	1.54 ↓	62.7
フッ素 F_2	$\text{F}-\text{F}$	1.44	64 (kcal/mol)
塩素 Cl_2	$\text{Cl}-\text{Cl}$	1.98 (大)	57
臭素 Br_2	$\text{Br}-\text{Br}$	2.28 (大)	45.4
ヨウ素 I_2	$\text{I}-\text{I}$	2.66 ↓	36
フッ化水素 HF	$\text{H}-\text{F}$	0.9	147 (kcal/mol)
塩化水素 HCl	$\text{H}-\text{Cl}$	1.28 (大)	102
臭化水素 HBr	$\text{H}-\text{Br}$	1.41 (大)	87
ヨウ化水素 HI	$\text{H}-\text{I}$	1.62	71
メタン CH_4	$\text{C}-\text{H}$	1.09	85.6 (kcal/mol)

(a) 一般に同一型の化合物では、原子間距離が小さい(逆→大きい)ほど、結合エネルギーが大きく(逆→小さく)なっている。これは、原子間距離の小さいほど、電子雲の重なりが強く(すなわち、電子のポテンシャルエネルギーは小さく)、それだけ2原子は安定した結合力をもつことを示している。

(b) 化学反応の起こりやすさは、三重結合>二重結合>単結合の順となる。

二重結合(エチレンの： σ 結合+ π 結合)の結合エネルギー $\approx 101\text{kcal/mol}$ 。

単結合(C—Cの： σ 結合)の結合エネルギー $\approx 63\text{kcal/mol}$ 。

ゆえに、二重結合のもう1つの結合である π 結合のエネルギー $\approx 38\text{kcal/mol}$ と、単結合のそれと比較して小さい値をとる。

三重結合(アセチレンの： σ 結合+2つの π 結合)の結合エネルギー $\approx 128\text{kcal/mol}$ 。

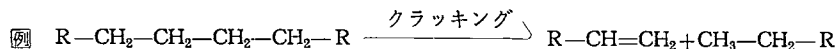
ゆえに、2つの π 結合の結合エネルギーの平均値 $\approx (128-63)/2 = 33\text{kcal/mol}$

と、二重結合における π 結合のエネルギー(38kcal/mol)よりも小さい値を示す。

それゆえ、反応の起こりやすさは、三重結合>二重結合の順に π 結合が開裂し、最後に基本の σ (単)結合の状態となることが予想される。



(c) 分解蒸留(クラッキング) 重油、軽油、燈油など炭素数の多い炭化水素を熱分解し炭素数の少ない低級炭化水素に変えるのも、原理的には結合エネルギーの大小(C—H>C—C)を比較し推論することができる。



その他、極性などもとりいれ、初期学習における原子構造と化学結合、さらに後期学習における有機化学理論の体系化のカリキュラムを検討しているので、次回にはこれらについて触れることにしたい。

核外電子配置と元素の周期表(長周期型)

副族 周期	S		d (f) ブロック										P ブロック						
	I a	II a	III b	IV b	V b	VI b	VII b	VIII b			I b	II b	III a	IV a	V a	VI a	VII a	VIII a	
1	H		金 属										非 金 属 He						
2	Li	Be											B C N O F Ne						
3	Na	Mg											Al Si P S Cl Ar						
4	K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Ni	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ca	Ge	As	Se	Br	Kr	
5	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Te	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe	
6	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Ro	
7	Fr	Ra	Ac																

↑ 遷移元素 典型元素 ↑