

## (第9講) 混成軌道の概念

教養教育研究院  
秋山 好嗣

245

---

---

---

---

---

---

---

## 混成軌道

### 本日の学習到達目標

- 共有結合をもつ分子構造を推定できる
- 分子軌道を使って混成軌道を説明できる
- 混成軌道の概念から、結合の方向性（分子の立体構造）を説明できる

246

---

---

---

---

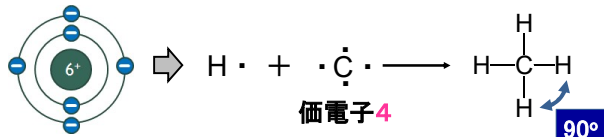
---

---

---

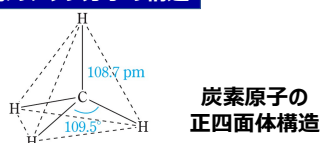
### 高校課程の多原子分子（メタン）の形

炭素Cの電子配置  
(電子数: 6)



このままだと、「メタンの分子は、平面上に角度90°に開いた4つの結合主を持つ平面構造」となってしまう…。

実際のメタン分子の構造



247

---

---

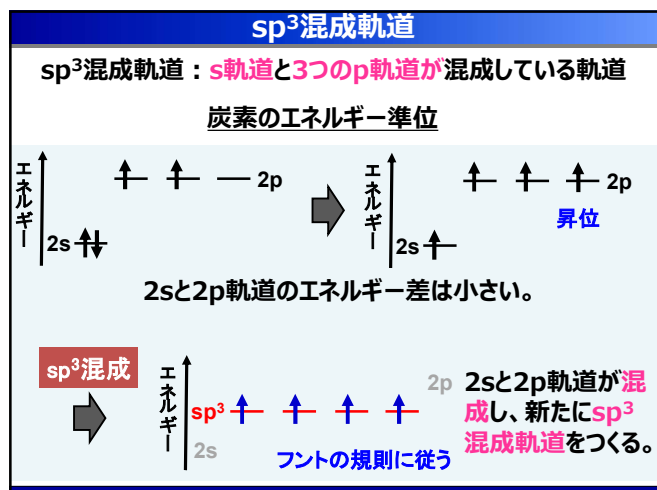
---

---

---

---

---



248

---

---

---

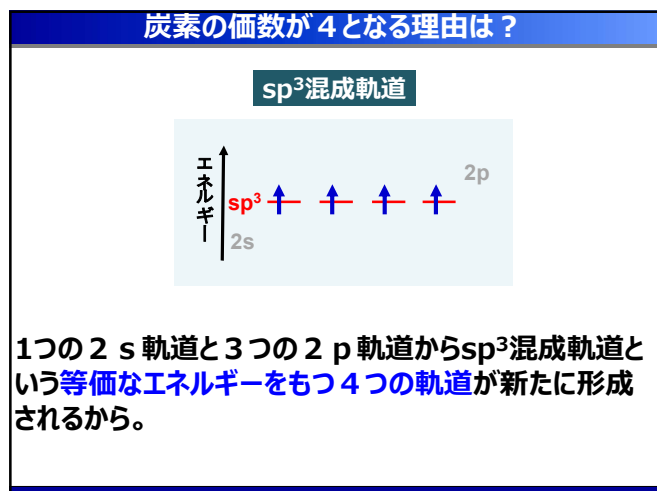
---

---

---

---

---



249

---

---

---

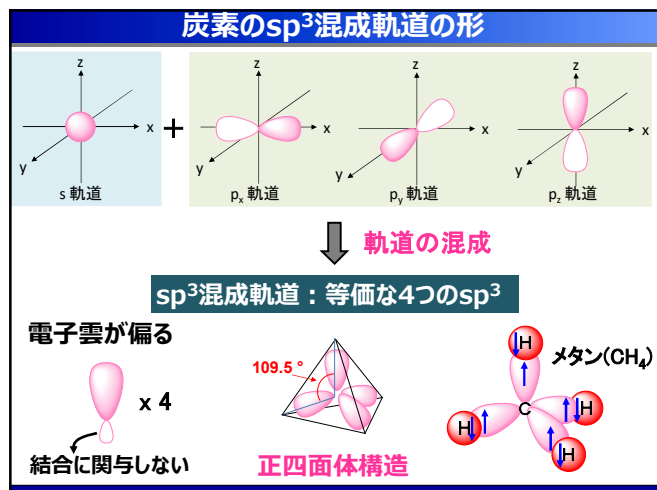
---

---

---

---

---



250

---

---

---

---

---

---

---

---

### sとpの混成した電子雲の形

$2p_x \ 2p_y \ 2p_z$   
  
 互いに直行した3つのp軌道

$2s$   
  
 1つのs軌道

$sp^3$ 混成軌道  
 $t_1 \ t_2 \ t_3 \ t_4$   
 3つのp軌道と1つのs軌道が4つの等価な軌道をつくる  
 $t_1 = 1/2(s + p_x + p_y + p_z)$   
 $t_2 = 1/2(s + p_x - p_y - p_z)$   
 $t_3 = 1/2(s - p_x + p_y - p_z)$   
 $t_4 = 1/2(s - p_x - p_y + p_z)$

■ 各軌道は、それぞれ波動関数で表記できる。つまり、波として扱える。  
 ■ P軌道の色の違いは、位相の違い（+か-の違い）を意味している。従って、s軌道とp軌道が重なると同じ位相の波は強めい、逆に、位相が逆の波は弱まる。

$p_x$  軌道

1つのs軌道と3つのP軌道から4つの混成軌道ができる。

251

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### 水とアンモニアの立体構造は？

■ アンモニア

孤立電子対をもつ  $sp^3$ 混成軌道

■ 水

H-O-H結合角は、H-N-H結合角より小さい角度をもつ。これは、結合電子対よりおおきな孤立電子対が2対あるためである。

252

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

### $sp^3$ 混成軌道をもつ分子

エタン  
( $CH_3-CH_3$ )

メタノール  
( $CH_3-OH$ )

メチルアミン  
( $CH_3-NH_2$ )

253

---

---

---

---

---


---

---

---

---

---



## ファント・ホッフの業績

**業績**

- ・立体化学（炭素原子正四面体説）
- ・反応速度論
- ・化学平衡（ファントホッフの式）
- ・浸透圧

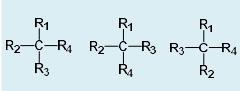
**J. H. van't Hoff**  
1852－1911年(58歳)  
(オランダの化学者)

**1901年ノーベル化学賞 受賞**


田幸正邦、芸術・科学の遺産の継承、東京図書出版

**炭素原子がつくる分子が立体的であると主張した根拠**

⇒ **実際の炭素化合物の異性体数が2つであることに着目**



平面構造を仮定すると異性体数：**3個**



立体構造を仮定すると異性体数：**2個**

254

---

---

---

---

---

---

---

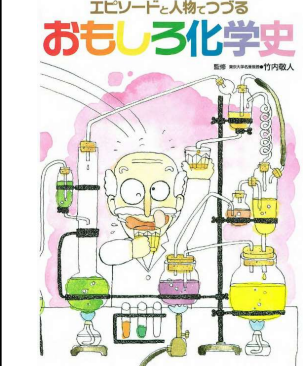
---

---

---

## 化学史に興味のある方へ

「夢・化学・21」 <http://kagaku21.net/>  
キャンペーン事業



**おもしろ化学史**

監修 **misawa 竹内敬人**

**1 近代化学のはじまり**

錬金術の隆盛と化学の誕生（『錬金術の隆盛』） 8  
錬金術から化学へ（『錬金術の隆盛』） 9  
錬金術から化学へ（『錬金術の隆盛』） 10  
錬金術から化学へ（『錬金術の隆盛』） 11  
錬金術から化学へ（『錬金術の隆盛』） 12

**2 石油化学の発展**

石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 13  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 14  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 15  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 16  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 17

**3 石油化学の発展**

石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 18  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 19  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 20  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 21  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 22

**4 ニューギニアの時代**

石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 23  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 24  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 25  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 26  
石油の発見と化学工業の発展（『石油の発見』） 27

255

---

---

---

---

---

---

---

---

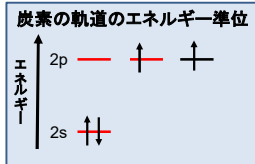
---

---

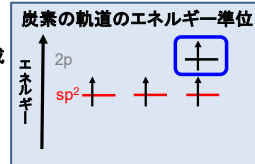
## sp<sup>2</sup>混成軌道

**1つのs軌道と2つのp軌道が混成している軌道**

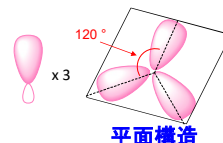
**炭素の軌道のエネルギー準位**



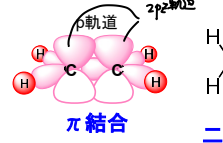
**炭素の軌道のエネルギー準位**



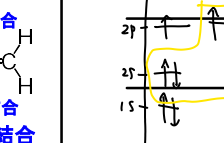
**例) エチレン(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)**



平面構造



π結合

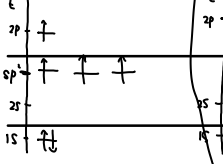


σ結合

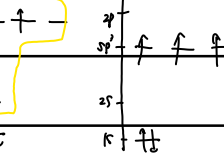
**二重結合**

256

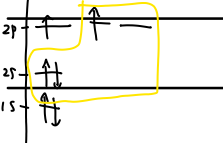
炭素の sp<sup>2</sup>混生



炭素の sp<sup>2</sup>混生



炭素の sp<sup>2</sup>混生



### sp混成軌道

1つのs軌道と1つのp軌道が混成している軌道

炭素の軌道のエネルギー準位

炭素の軌道のエネルギー準位

軌道の混成

例) アセチレン( $\text{C}_2\text{H}_2$ )

2p軌道に残った電子が $\pi$ 結合に関与

直線構造

p軌道

$\sigma$ 結合

$\pi$ 結合

$\pi$ 結合  $\times 2$

三重結合

$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$

257

---

---

---

---

---

---

---

---

### $\text{sp}^2$ 、 $\text{sp}$ 混成軌道の形

$\text{sp}^2$ 混成軌道：3つの $\text{sp}^2$ と1つのp軌道

平面構造

例) エチレン( $\text{C}_2\text{H}_4$ )

120°

p軌道

$\sigma$ 結合

$\pi$ 結合

二重結合

$\text{H}_2\text{C}=\text{CH}_2$

$\text{sp}$ 混成軌道：2つの $\text{sp}$ と2つのp軌道

例) アセチレン( $\text{C}_2\text{H}_2$ )

直線構造

p軌道

$\sigma$ 結合

$\pi$ 結合

$\pi$ 結合  $\times 2$

三重結合

$\text{H}-\text{C}\equiv\text{C}-\text{H}$

1重結合 ( $\sigma$ 結合のみ) は、自由に回転できるが、多重結合はp軌道の重なりがくずれてしまうため回転できない。

258

---

---

---

---

---

---

---

---

### 演習1

炭素の原子価が4となる理由を分子軌道の概念から説明しなさい。

例)

炭素原子の軌道が混成する前後の軌道を以下に記す。 $\text{sp}^3$ 混成軌道の場合、1つの2s軌道と3つの2p軌道が混成して4つの等価なエネルギーをもつ軌道が新たに形成される。これにより、炭素原子は他の原子がもつ電子を4つの軌道に1個ずつ収納できるため、炭素の原子価は4である。

エネルギー

2s

2p

$\text{sp}^3$ 混成

エネルギー

$\text{sp}^3$

$\text{CH}_4$

259

---

---

---

---

---

---

---

---

## 演習2

メタン、アンモニア、水分子の電子雲の立体構造を意識して図示しなさい。  
この時、非共有電子対も図中に記入すること。



※各分子の中心元素の軌道は以下のように変化している。

