

# 有機化合物の世界

## 1 有機化学を学ぶ前に

### 1.1 なぜ有機化学を学ぶのか

私たちの身体は細胞から組み立てられている。細胞は脂質に包まれたコロイド溶液の微小空間であり，ここには細胞核や細胞内小器官が詰め込まれている。細胞核の内部には DNA が収納されており，ここに記されたプログラムに従って私たちの体内では，二万種類以上の蛋白質が **20** 種類のアミノ酸を原料として合成されている。

蛋白質の多くは私たちの体内で生化学反応を進めるための触媒として機能している。たとえば私たちは，エネルギーを得るために炭水化物を摂取するが，この炭水化物に対して，数十種類の蛋白質が触媒として働き，最終的に水と二酸化炭素に分解する。

一方，私たちの健康を守る医療技術では，縫合糸にポリ乳酸，人工血管にポリエチレンテレフタレート，透析フィルターにテフロン，輸液バッグにポリエチレン，使い捨て注射筒にポリプロピレンといったプラスチック材料が使用されている。消毒にはエタノールやイソプロピルアルコールが，保湿剤にはグリセロールが用いられている。

ここで下線を付けた物質はすべて有機化合物である。また，医薬品のほとんどすべては有機化合物である。私たちの身体を構成する材料と，私たちの健康を守る材料を理解するためには，有機化合物について学ぶことが必要である。

### 1.2 何を学ぶのか/何を学ばないのか

有機化学の専門家を目指すのでない限り，多量の有機化合物を丸暗記する必要はない。覚えなければならないのは，医療を学ぶため，また，医療の仕事をするために必要な最低限度の有機化合物だけでよい\*1. 覚えなければならない

---

<sup>1</sup> たとえば医療の仕事をする者がエタノールとメタノールの区別もできないようではハナシにならない。

ない化合物の具体的なリストは別に示す\*2.

また、有機化合物には名前の付け方に国際ルールがあるが(IUPAC 命名法), これも化学を専門にしない限り労力を割いて習得する必要はない\*3. 基本的な化合物の大半は、このルールに従った名称よりも、慣用的に用いられ続けている名称(慣用名)で呼ばれることが多いからである\*4.

さらに、有機化学にはイロイロな反応が出てくるが、これらも細かい反応メカニズムや反応条件を覚える必要はない. 基本的な化合物がどのような反応をするのかについて概要を説明できれば十分である. それに加えて、代表的な医薬品や医療材料に関して、合成方法の概略を説明できるようになれば、これから先に、医療関連物質の話題について行けるかもしれない.

## 2 有機化合物の世界はどのような世界なのか

### 2.1 とにかく種類は多い

天然に存在するものから人工的に合成されたものまで、2012年10月4日の段階で\*5、私たちの世界には6,900万種の化合物の存在が知られている\*6. これらをあわせたもののうち、少なく見積もっても9割は有機化合物である. すなわち、私たちの世界には6,200万種類を超える有機化合物が存在しているのである.

有機化合物にはこれだけの種類があるが、それらの間にはいくつかの共通性が見られる\*7. そのことを先に理解してから、有機化学の世界に足を踏み入れることにしよう.

---

2 「有機化合物の構造と名前を覚えよう」

3 習得することに意味がないというわけではなく、これから有機化学を学ぶ際に優先順の上位には来ないという意味である. 命名法のルールが分かっていると便利なこともあるが、わからなくても別に困らない.

4 たとえば消毒に用いられる「イソプロピルアルコール」は正式名称ではなく慣用名である. 正式名称は2-プロパノールである. 日本薬局方では「イソプロパノール」となっているが、これは国際ルールに反している. こんな調子である.

5 化合物のオンラインデータベースがある. 登録されている化合物数が数秒間に1種類の割合で増えている. <http://www.cas.org/>

6 蛋白質やDNAの配列情報は除く.

7 例外もあるが面倒なのでいちいち書かない.

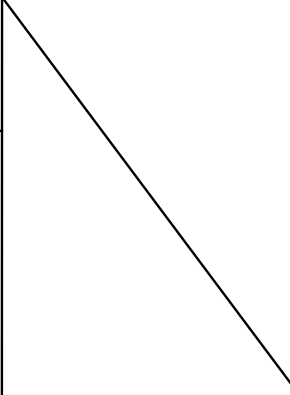
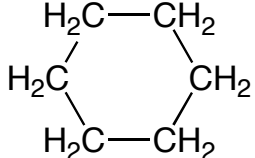
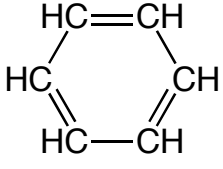
## 2.2 基本構成要素は炭素 C, 水素 H, 酸素 O, 窒素 N

有機化学の世界に登場する元素のほとんどは、C, H, O, N の 4 種類である。これらの他に、リン P, 硫黄 S, ハロゲンが登場することもある。我々の身体を構成する有機化合物を例にとってみよう。蛋白質の構成材料である天然アミノ酸 20 種類のうち、S をもつものは 2 種類だけであり、他のすべては C, H, O, N から構成されている。DNA の場合は C, H, O, N, P の 5 種類である。

## 2.3 基本骨格は炭素 C と水素 H の 2 種類だけ

有機化合物の基本骨格は炭素 C と水素 H から構成されている。だから、有機化合物の分子構造を考えるときには、まず、どのように炭素原子と炭素原子とがつながっているのかを考えればよい。その後から細々としたパーツを付けて行けばよいのである。表 1 に基本骨格と化合物の例を示す。

表1 有機化合物基本骨格の分類と化合物の例

	脂肪族炭化水素(鎖式炭化水素)	芳香族炭化水素
飽和炭化水素	アルカン $\text{CH}_3-\text{CH}_3$ エタン	
	シクロアルカン  シクロヘキサン	
不飽和炭化水素	アルケン $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ エチレン	 ベンゼン
	アルキン $\text{CH}\equiv\text{CH}$ アセチレン	

この表では、C-H 結合は省略されている。有機化合物の構造式を表すときには、炭素 C と水素 H とをひとまとめにすることが多い。その方が描くときにも読むときにも楽だからである。たとえばヘキサン  $C_6H_{14}$  は図 1 のようにあらわす。

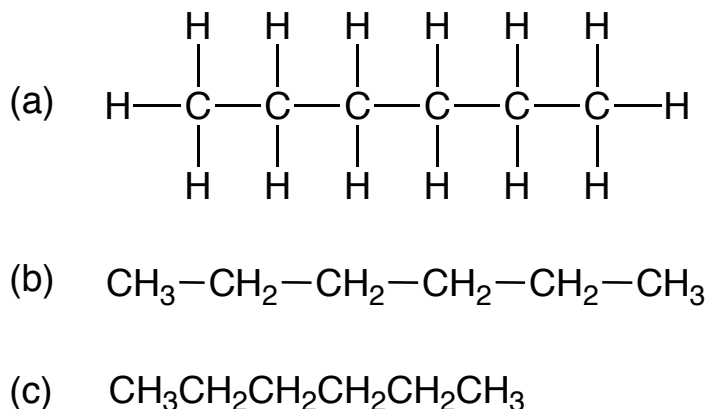


図 1 ヘキサン  $C_6H_{14}$  の構造式. (a)すべての原子について結合がわかるように記す方法. (b) C-H 結合を省略して C と H とをまとめて記す方法. (c) C-C 結合も省略して記す方法.

さらに、C と H のまとまりさえも省略してしまう場合がある。ヘキサンの場合には図 2 のように記される。

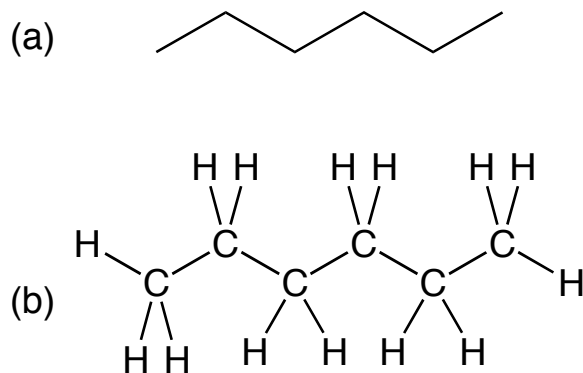


図 2 ヘキサンの構造式. (a)は折れ線で構造をあらわしたもの. (b)はすべての原子を記したもの. どのように原子を省略しているのか比べてみよう.

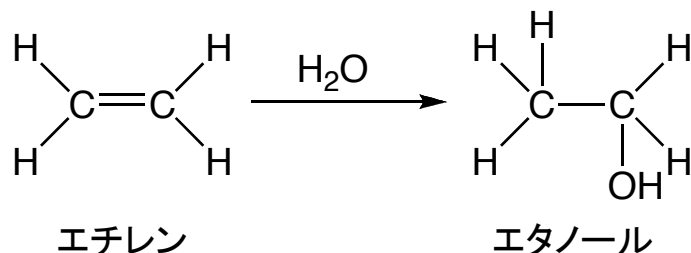
## 2.4 反応パターンは 4 種類

有機化合物固有の反応は数え切れないほど知られているが、分類すると、付加、脱離、置換、転位、の 4 パターンのどれかにあてはまる。これから先に専門科目を学んだり、専門書を読んだりしたとき、はじめて出会う有機化学反応を相手にするときには、それが上記 4 パターンのどれなのかを考える

ところから手を付ければよい。以下に例を示す。

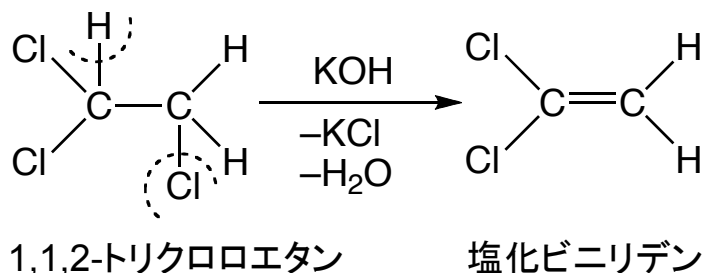
### (a) 付加反応

二重結合や三重結合が開裂し、それらの端に新しい原子団\*<sup>8</sup>が共有結合する反応。たとえばエチレン  $\text{CH}_2=\text{CH}_2$  に水  $\text{H}_2\text{O}$  が付加してエタノール  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$  が生じる反応。



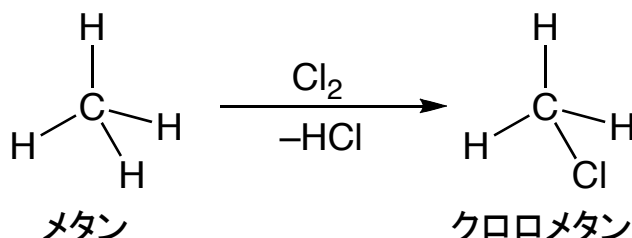
### (b) 脱離反応

化合物が原子団を放出してより原子数の少ない分子となる反応。たとえば1,1,2-トリクロロエタンから塩化水素  $\text{HCl}$  が離れて塩化ビニリデン  $\text{CCl}_2=\text{CH}_2$  が生じる反応。



### (c) 置換反応

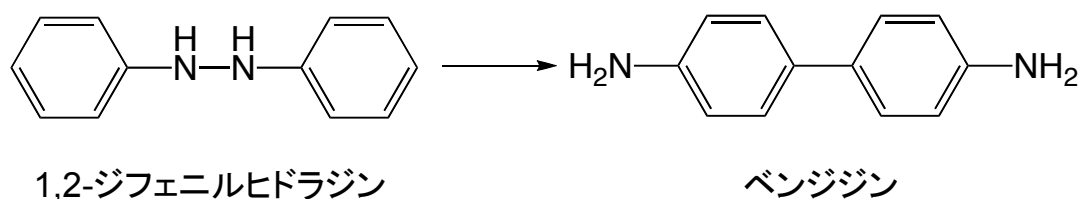
化合物の同一原子上で置換基が置き換わる反応。たとえばメタン  $\text{CH}_4$  の水素原子  $\text{H}$  が塩素原子  $\text{Cl}$  に置き換わってクロロメタン  $\text{CH}_3\text{Cl}$  が生じる反応。



<sup>8</sup> 分子内の部分構造。

#### (d) 転位反応

化合物内で原子や原子団が結合位置を変える反応. たとえば次のような反応.



### 2.4 構造バリエーションの世界

数種類の元素を材料に, 組み合わせパターンの多様性で数千万種類の分子を組み立てているのが有機化合物の世界である. そのため, 同じ種類の元素を同じ数だけ使っても異なる物質になることがある. たとえば  $C_2H_6O$  であらわされる化合物を考えてみよう. 図 3 に示すとおり, 2種類が可能である.

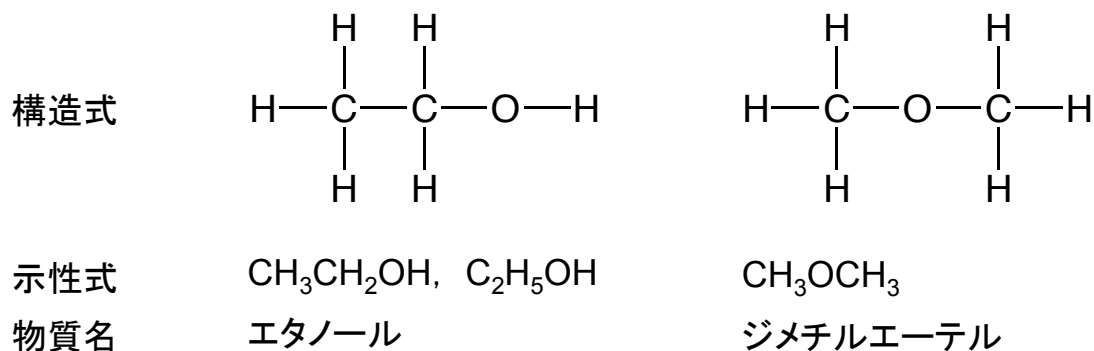


図 3 エタノールとジメチルエーテルの構造式と示性式.

エタノールは消毒薬として用いられている常温で液体の物質である. 一方, ジメチルエーテルは常温で気体の物質である. 両者は全く異なる物質である. このような例があたりまえに出てくるのが有機化合物の世界である. なお, 分子式が同じでも構造の異なる物質どうしを**異性体**と呼ぶ. また, 分子内における原子の結合順序の異なる異性体どうしを**構造異性体**と呼ぶ. エタノールとジメチルエーテルは, 互いに構造異性体の関係にある.

分子の構造と性質を特徴づける  $-OH$ ,  $-COOH$ ,  $-NH_2$  などのパーツを**官能基**と呼び, 官能基を用いてあらわした化学式を**示性式**と呼ぶ.

### 3 生命現象と分子構造とのかかわり

#### 3.1 アミノ酸の光学異性体

鏡に向かって右手を差し出してみよう．鏡の向こうのあなたは左手を差し出してくる．鏡のこちら側と向こう側では，左右が逆転しているのだ．分子の世界でもこれと同じことが起こる．たとえば食品中で「うま味」の素になっている L-グルタミン酸を考えてみよう(図 4)．

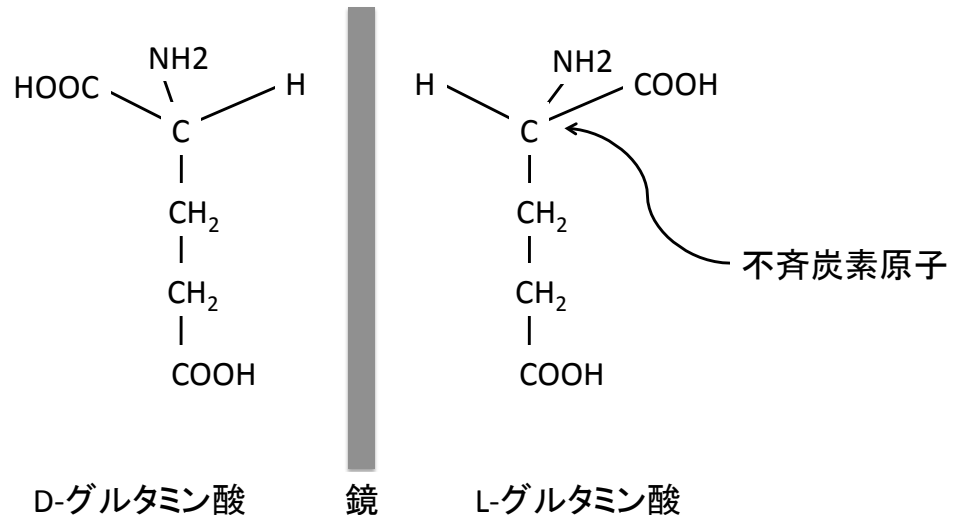


図 4 L-グルタミン酸と D-グルタミン酸. 両者は鏡像異性体の関係にある. 不斉炭素原子の 4 本の共有結合のレイアウトが異なっている.

L-グルタミン酸を鏡に映すと D-グルタミン酸になる. 両者は重ね合わせることでできない別の構造をしている. 右手と左手の関係である. この関係を鏡像異性体(エナンチオマー)と呼ぶ<sup>9</sup>. どちらのグルタミン酸も化学的には全く同じ性質を示すが, 私たちの身体は両者を見わけることができる. L-グルタミン酸には「うま味」があるのだが, D-グルタミン酸には味がないのである.

グルタミン酸は 1 個の炭素原子 C に  $-H$ ,  $-NH_2$ ,  $-COOH$ ,  $-CH_2CH_2COOH$

<sup>9</sup> 高校化学でこの関係のことを「光学異性」と教わったかもしれないが, これは誤りである. 鏡像異性は光学異性的一种であって同じものではない. 複数個の不斉炭素原子をもつ化合物を考えてみる. (1)「左手+左足」の光学異性としては(2)「右手+右足」の他に(3)「右手+左足」と(4)「左手+右足」も考えられるが, これら 3 種類はいずれも(1)の光学異性体に分類される. その中で, 特に鏡の両側に相当する(1)と(2)の関係を鏡像異性と定義している. なお, (3)と(4)も互いに鏡像異性関係にある. なお, 鏡像異性体でない光学異性体をジアステレオマーと呼ぶ.

の4種類の部品(置換基)が接続されたしくみになっている. このように4種類の異なる置換基をもつ炭素原子を**不斉炭素原子**と呼ぶ. 不斉炭素原子をもつ化合物には鏡像異性体が存在する.

### 3.2 サリドマイド

不斉炭素原子をもつ化合物は, 医薬品のなかにも存在する. 例えば図5の化合物を見てみよう.

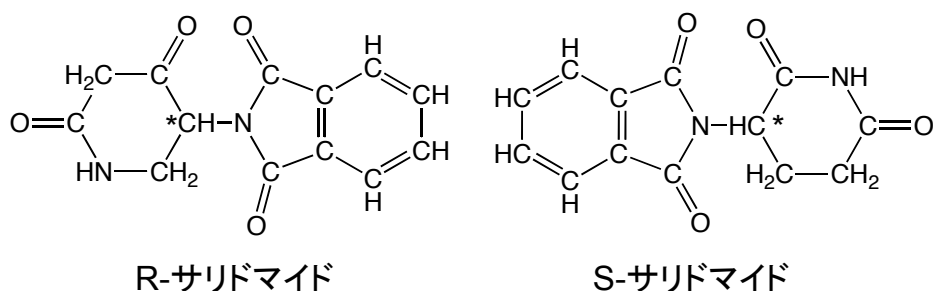


図5 R-サリドマイドとS-サリドマイド. R-サリドマイドは睡眠薬や乗り物酔い止めとして有効な化合物. S-サリドマイドは非常に高い催奇性を持ち, 高い頻度で胎児に異常をひき起こす化合物. \*は不斉炭素原子を示す.

サリドマイドは睡眠薬として1950年代~1960年代に市販された薬品である. しかし, ツワリに苦しむ妊婦が服用したところ奇形児が生まれてくる事故が多発した. 鏡像異性体の片方, S-サリドマイドに催奇性があったのだ\*10. 当時の化学合成技術では鏡像異性体を分けて製品化することができず, 睡眠薬のR-サリドマイドと催奇性化合物のS-サリドマイドを50%ずつ含む製品が出荷されたのだ\*11.

このように, 化学分析では判別できない鏡像異性体の違いが, 人体に大きな影響を与える場合がある. 有機化合物に対する理解は, 生命を守るために必要なものなのだ.

10 その後の研究で, R-サリドマイドだけを服用しても体内でS-サリドマイドへの変換反応が生じることがわかっている.

11 鏡像異性体を50%ずつ含む混合物をラセミ体と呼ぶ.



# アルカン

## 1 有機化学の基本は炭化水素

有機化合物の世界を知るために、まず基本骨格のパターンを見よう。炭素 C と水素 H だけから組み立てられており、結合がすべて単結合で、直鎖状の化合物をアルカンと呼ぶ\*12。表 1 には炭素数 1 から 8 までのアルカンと、20 以上のアルカン混合物の一覧を示した。

表 1 アルカンの例

C 数	名称	化学式	状態 (25 °C)
1	メタン	CH <sub>4</sub>	気体
2	エタン	CH <sub>3</sub> CH <sub>3</sub>	気体
3	プロパン	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	気体
4	ブタン	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	気体
5	ペンタン	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	液体
6	ヘキサン	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	液体
7	ヘプタン	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	液体
8	オクタン*13	CH <sub>3</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> CH <sub>3</sub>	液体
20 以上	パラフィン*14		固体
数百～ 数十万	ポリエチレン *15	$\left[ \text{CH}_2 - \text{CH}_2 \right]_n$	固体

12 アルカンの化学式は一般に式 C<sub>n</sub>H<sub>2n+2</sub> であらわされる。

13 ガソリンに含まれるオクタンはこれの異性体で、2,2,4-トリメチルペンタン。慣用名はイソオクタン。

14 パラフィンは炭素数が 20 以上のアルカンの混合物。

15 ポリエチレンは炭素数が数百から数十万の高分子化合物と呼ばれる物質である。高分子化合物では両末端の構造は無視して考える。さまざまな分子量の分子が混ざっている。

## 2 構造異性体

メタン  $\text{CH}_4$ , エタン  $\text{CH}_3\text{CH}_3$ , プロパン  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$  までは可能な構造式は 1 種類ずつである。しかし、ブタン  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$  以降は次のように構造の異なる物質が存在する。たとえばペンタン  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$  の場合には図 1 のように 3 種類の構造が考えられる。組成式は等しいが原子の間の結合関係が異なる分子を、互いに**構造異性体**と呼ぶ。

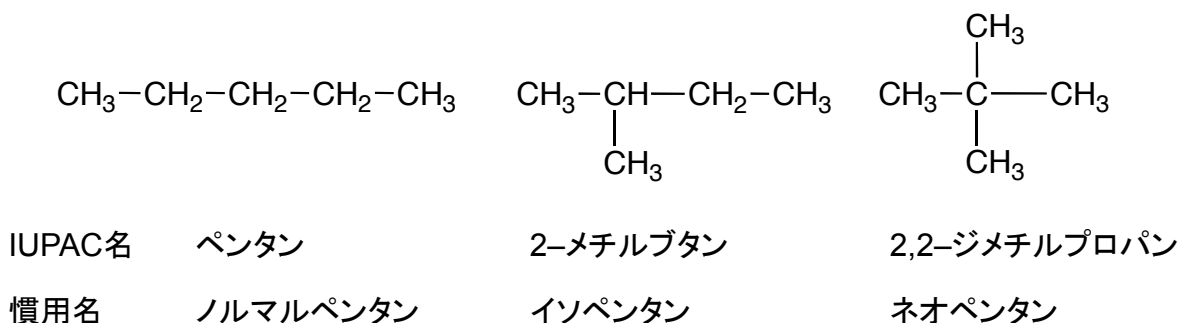
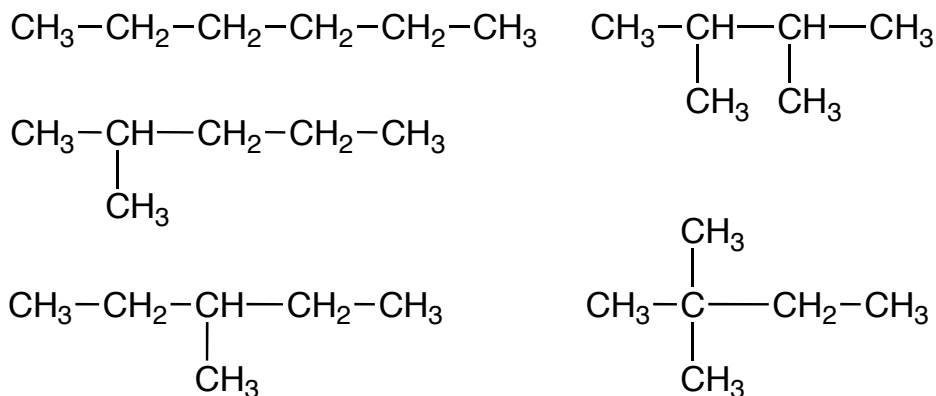


図 1 ペンタン  $\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_2\text{CH}_3$  の構造異性体と IUPAC 名, および慣用名.

### [例題]

ヘキサンの構造異性体は何種類あるか。考えられる構造をすべて記せ。

### [解答]



5 種類.

## 2 アルカンの置換反応

アルカンが反応物となる化学反応は燃焼反応か置換反応である。置換反応とは、化合物の同一原子上で原子や原子団が置き換わる化学反応である。アルカンの置換反応のなかでは、ハロゲン化が重要である。

例としてメタン  $\text{CH}_4$  が塩素  $\text{Cl}_2$  と反応するときのことを考える。この反応

は高校化学の教科書に、次の一行だけで紹介されている。

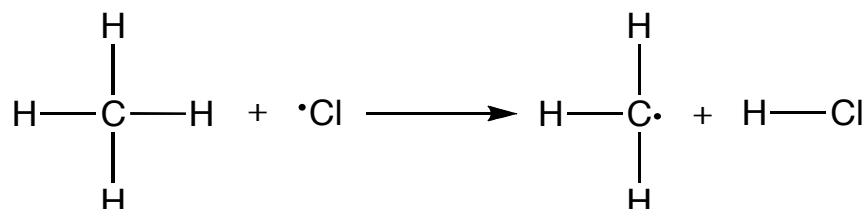


この反応のしくみを見てみよう。

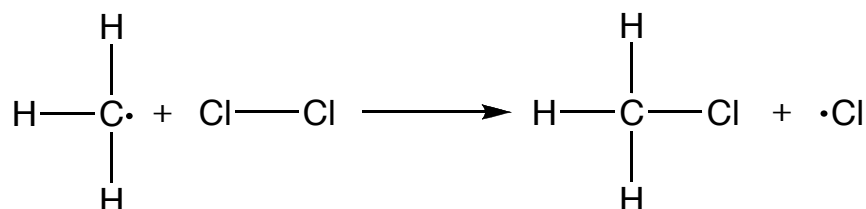
メタンも塩素も常温では気体である。両者を反応容器に封入し、光を照射する。この光エネルギー\*16によって  $\text{Cl}_2$  分子の共有結合が均等に切断される(ラジカル開裂)。



$\text{Cl}\cdot$  は塩素原子のラジカルである。ラジカルとは共有結合が二等分された、非常に反応性の高い状態である。このラジカルは、他の分子を攻撃し、原子を引き抜くことができる。たとえばメタン  $\text{CH}_4$  を  $\text{Cl}\cdot$  が攻撃すると、次のようにメタン分子から  $\text{H}$  が1個引き抜かれる。



この結果、メタン  $\text{CH}_4$  分子は反応性の高い  $\text{CH}_3\cdot$  ラジカルに変わった。こんどはこれが別の分子を攻撃する。たとえば  $\text{Cl}_2$  とか。



この反応の結果、 $\text{CH}_3\text{Cl}$  が生成する。

ところで、最後の反応式で  $\text{Cl}\cdot$  が生じてしまった。これはどうなるのだろうか？ 2通りの可能性がある。一つは、「別の  $\text{CH}_4$  に攻撃をしかける」である。その結果、 $\text{CH}_3\text{Cl}$  が次々と生成することになる。すなわち、ラジカル反応は連鎖反応なのである。

一方、 $\text{Cl}\cdot$  どうしが衝突する可能性もある。

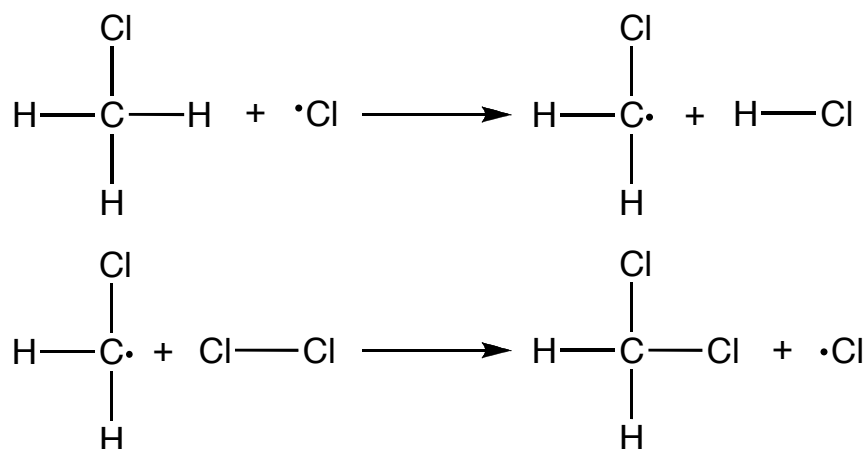


---

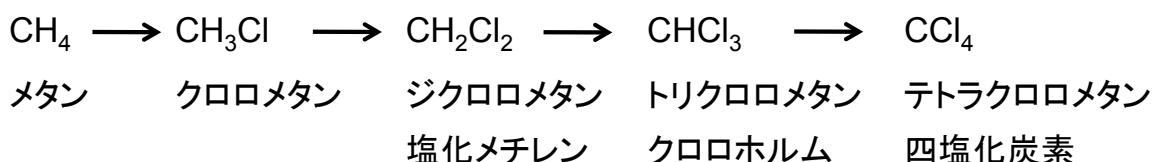
\*16 光がエネルギーであることは前期の講義で学んだ。

この場合は反応が停止する.

さて,  $\text{CH}_4$  に対して過剰量の  $\text{Cl}_2$  を加えておいた場合,  $\text{CH}_4 \rightarrow \text{CH}_3\text{Cl}$  では反応が止まらず, 次の反応が生じる.



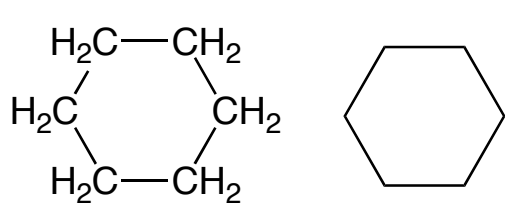
この反応もさらに先に続く. H が Cl に置換されて行くのだ.



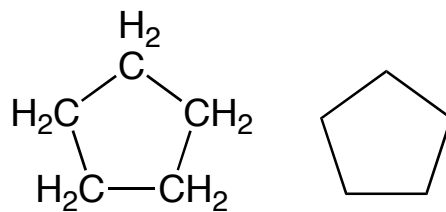
アルカンへのラジカル反応はコントロールが難しい. 連鎖反応が起こるため, 例えば上記反応の場合,  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  の生成段階だけで反応を止めることができない. 混合物となる生成物から目的物を分けなければならない.

### 3 シクロアルカン

単結合だけで炭素が環状につながった炭化水素をシクロアルカンと呼ぶ\*17. シクロアルカンの例を以下に示す.



シクロヘキサン  $\text{C}_6\text{H}_{12}$



シクロペンタン  $\text{C}_5\text{H}_{10}$

□

17 シクロアルカンの化学式は一般に  $\text{C}_n\text{H}_{2n}$  とあらわされる.