



原子と元素はどう違う？

～原子と元素記号～

世の中の物質はすべて「原子」という粒からできています。1粒の原子はとても小さくて軽いため、イメージするのは難しいかもしれません。そこでアルミニウムでできている1gの1円玉を例にして考えてみましょう。

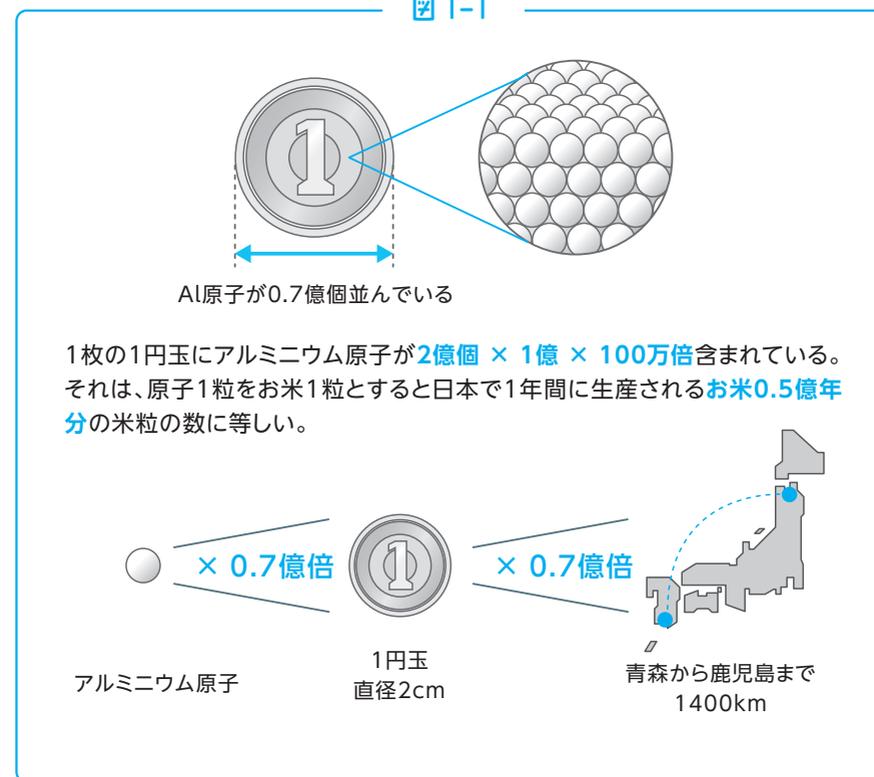
まずは、アルミニウム原子をいくつ集めれば1円玉ができるのかを考えてみましょう（図1-1）。

大きさに注目すると、アルミニウム原子は1億分の3cmくらいなので、直径2cmの1円玉の直径部分には0.7億個のアルミニウム原子が並んでいることとなります。また、質量に注目すると、原子はとても軽いので、1gの1円玉にはアルミニウム原子が2億個のさらに1億倍、そのまたさらに100万倍の数が含まれています。これがどれくらい大きな数かということ、原子1粒をお米1粒に例えたときに、日本で1年間に生産されるお米を約0.5億年分集めるのと同じ数です。えっ？ かってイメージしにくいですって？ とにかく途方もなく大きな数字になるので、原子はとても小さくて軽いというイメージをもってもらえればOKです。

現在知られている100種類程度の原子には世界共通のアルファベットによる記号がつけられています。これを元素記号といいます。原子記号といわないのは、「原子」は粒に着目するときのよび方だからです。種類に着目するときは「元素」というのです（原子は1粒、2粒…と数えますが、元素は1種類、2種類と数えます）。「元」も

「素」も訓読みすると「もと」と読みますから、「元素」はあらゆる物質を作っている基本の成分という意味になります。アルファベットは26文字しかないので、100種類を超える元素に割り当てるには1文字ずつでは足りません。そこで、周期表を見ると炭素や水素など基本的な元素にはアルファベット1文字を割り当てることにして、ほとんどの元素にはアルファベット2文字が割り当てられています。このとき、元素の記号の1文字目は大文字で、2文字目は小文字で書き、アルファベットを英語式で読むという決まりがあります。例えばNaはドイツ語ではNatrium、英語ではSodium、中国語では鈉、日本語では曹達ソーダといいますが、世界共通でエヌエイという決まった読み方があります。

図1-1





中性子には どんな役割があるのか？

～ 原子を構成する 3 つの粒子、陽子、電子、中性子 ～

原子は、陽子、中性子、電子というさらに小さな粒子からできています。それぞれの粒子の違いについて見ていきましょう。

図 2 - 1 にヘリウム原子の構造を示しました。陽子、中性子、電子が 2 個ずつあります。陽子はプラスに帯電し、電子はマイナスに帯電し、中性子はその名の通り中性なのでプラスにもマイナスにも帯電していません。では、「帯電している」とは、どういうことでしょうか？ 冬の乾燥した日には静電気がおきます。セーターを脱ぐときに静電気がおきるのは、セーターがプラスに帯電しているからです。このようにプラスとマイナスの 2 種類ある電気のどちらかを帯びている状態を「帯電している」と表現します。プラスに帯電しているものとマイナスに帯電しているものは引き合うので、陽子と中性子が集まって原子核を構成し、そのまわりを陽子に引っ張られて電子がぐるぐる回っています。原子番号は陽子の数をもとにつけられていて、He は陽子を 2 個もつので原子番号は 2 番です。原子の重さを表すときには、電子は陽子に比べてはるかに軽いので電子の数は無視して、陽子と中性子を足した数で表します。これを「質量数」といいます。

では、中性子は何のためにあるのでしょうか。実は中性子は、原子核に集まっている陽子がプラス同士で反発してバラバラにならないよ

図 2-1

He原子の構造

陽子、中性子の質量を
1とすると電子は $\frac{1}{1840}$

+	1
●	1
-	$\frac{1}{1840}$

陽子の数 + 中性子の数 = 質量数 ——— 4

陽子の数 = 原子番号 ——— 2

He

元素記号

うに抑える「のり」の役割をしているのです。水素原子は陽子と電子が 1 個ずつしかありませんが、これは陽子が 1 個で反発する相手がないので、中性子が必要ないからなのです。陽子の数が増えていくと、プラス同士反発してバラバラになろうとする力も大きくなるので、中性子も増えていきます（図 2 - 2）。

みなさんは湯川秀樹氏の名前は知っていると思います。そう、日本人初のノーベル賞受賞者ですね。では、湯川秀樹さんのノーベル賞受賞理由はわかりますか？ どうでしょう？「中間子理論」と答えられた人はほとんどいないと思います。では「中間子理論」って何？ と聞かれたら…？ ほとんどの人はお手上げですね。実は陽子と中性子



がこの「中間子」をやり取りすることで原子核がバラバラにならない仕組みになっているのです。湯川氏はこの中間子の存在を理論的に予想したことで、ノーベル賞を受賞したのです。

図 2-2

陽子同士は反発するので、バラバラにならないように“のり”の役割をする中性子を増やすことで原子核にくっつけている。

ウラン235は中性子がたくさんあっても陽子の反発を抑えきれずに壊れてしまう。

核分裂といい、そのときに発生する熱を使うのが原子力発電所。

	炭素	カルシウム	銀	鉛	ウラン
	${}^{12}_{6}\text{C}$	${}^{40}_{20}\text{Ca}$	${}^{108}_{47}\text{Ag}$	${}^{207}_{82}\text{Pb}$	${}^{235}_{92}\text{U}$
陽子の数	6	20	47	82	92
中性子の数	6	20	61	125	143

中性子にはどんな役割があるのか？

2

3

基



同じ元素でも重さが異なります

～ 同位体 ～

陽子の数は同じ、つまり同じ元素なのに中性子の数が異なるために、質量数が異なる原子が存在することがあります。この関係を同位体といいます。同位体がどんな役に立つのかを中心に見ていきましょう。

天然に存在する炭素原子のほとんどは陽子と中性子を6個ずつもつ ${}^{12}\text{C}$ ですが、陽子6個と中性子7個をもつ ${}^{13}\text{C}$ も約1%存在しています。このように原子番号が同じでも質量数の異なる原子同士の関係を互いに同位体といいます。実は炭素には ${}^{14}\text{C}$ というもう1つの種類の同位体もごくわずかに存在しています（ ${}^{12}\text{C}$ が1兆個につき1個の割合）。この ${}^{14}\text{C}$ は放射性同位体とよばれていて、時間がたつと中性子1個が陽子と電子に分裂し、 ${}^{14}\text{N}$ に変化するのです（質量数は変化しませんが、陽子が1個増えるので原子番号も6番のCから7番のNに変化します）。このままでは、 ${}^{14}\text{C}$ はどんどん減ってなくなってしまうのですが、大気中では宇宙線の作用により ${}^{14}\text{N}$ から ${}^{14}\text{C}$ に変化する反応が常におきているので ${}^{14}\text{C}$ の割合は一定に保たれています（図3-1）。 ${}^{14}\text{C}$ は CO_2 として存在し、植物が光合成する際に植物にとり込まれ、その植物を動物は食べるので生物の体内には大気中と同じ割合の ${}^{14}\text{C}$ が存在します。しかし、植物や動物が死んで外部からの ${}^{14}\text{C}$ の供給が途絶えると内部の ${}^{14}\text{C}$ は壊れて減り続けます。放射性同位体が減って最初の量の半分になるまでの時間を半減期といい、

第1章



物質の基本粒子



カロリー(cal)とジュール(J)、 熱を表す単位とは

～ 熱の基本～

私たちは日常生活で「ドーナツは1個 200kcal もあって、カロリーが高い」という言い方をします。このカロリーが熱量を表す単位です。これは、ドーナツに火をつけて灰にするまで燃やしたときに出る熱が 200kcal ということです。揚げ物のカロリーが高いのは脂質をたくさん含んでいるため、よく燃えるからです。

熱の量を表す単位にはカロリー [cal] とジュール [J] があります。1cal は 1g の水の温度を 1K (ケルビン：これは絶対温度の単位でしたね) 上げるのに必要な熱量として定義された単位です。これを水の比熱といい、 $1\text{cal}/(\text{g}\cdot\text{K})$ と表します。20 年くらい前まではこの cal という単位を使っていましたが、現在では国際的な標準単位であ

☒ 39-1

熱の量を表す単位

$$\begin{array}{ccc} \text{カロリー} & & \text{ジュール} \\ 1\text{cal} & = & 4.2\text{J} \end{array}$$

1g の水の温度を 1K 上昇させる熱量。栄養学の分野のみで使用されている。

1W の電熱線が 4.2 秒で出す熱量。国際的に使われている。この本では J を使う。

比熱：ある物質の温度を 1K 上昇させるのに必要な熱量

るジュール [J] を使うことになっています。 $1\text{cal} = 4.2\text{J}$ なので、水の比熱は $4.2\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ になります。

水は他の物質と比べて比熱が大きい、つまり温まりにくく冷めにくい物質です。例えば鉄の比熱は $0.44\text{J}/(\text{g}\cdot\text{K})$ で、水の約 10 分の 1 しかありません。0℃、1.0L の水を 100℃まで温度上昇させるには 420kJ の熱が必要ですが、同じ重さの鉄を 0℃から 100℃まで温度上昇させるには 44kJ の熱ですむのです。

表 39-1 ● いろいろな物質の比熱

物質名	比熱 J/(g·K)	物質名	比熱 J/(g·K)
水	4.2	鉄	0.44
エタノール	2.4	銅	0.39
ガラス	0.80	アルミニウム	0.90
水銀	0.14	銀	0.23

さて、現在化学の世界ではもう出てくることのない cal という単位ですが、1g の水の温度を 1℃上げる熱量というのは理解が容易なので、いまだに栄養表示の世界では使われています。食べ物の熱量は kcal で表しますね。するとドーナツ 1 個はどれくらいのエネルギーになるのでしょうか。計算してみましょう。まず、200kcal の k (キロ) は 1000 倍の意味なので 200kcal は 20 万 cal です。これは、200L の浴槽の水の温度を 1℃上昇させることができる熱量です。ドーナツ 1 個で結構大きなエネルギーが出ることがわかります。





化学反応に伴う 熱の出入りをどう表すか

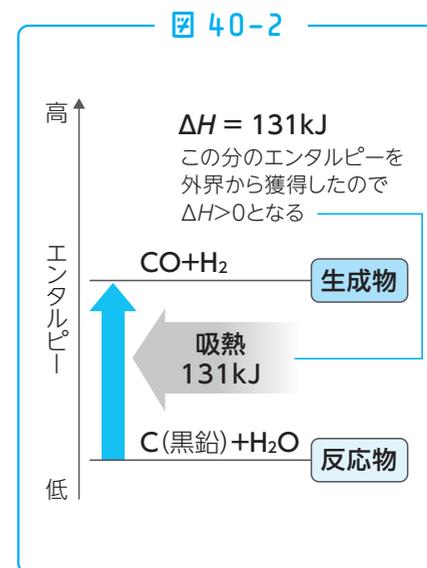
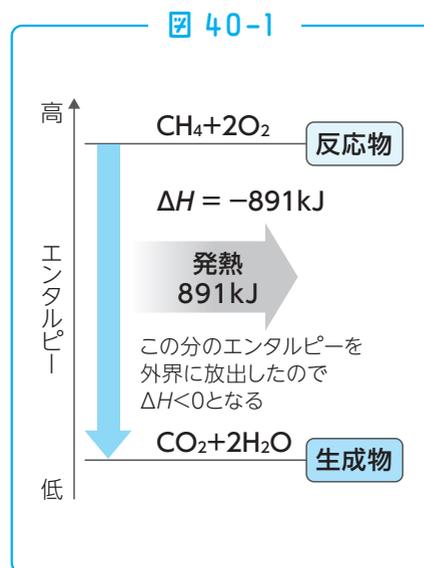
～ 発熱反応、吸熱反応とエンタルピー～

化学反応では熱の出入りを伴います。ホッカイロは鉄が酸化されるときに発生する熱を利用したものですし、ガスコンロで料理ができるのも都市ガスのメタンが燃焼するとき大きな熱を発生するからです。

【発熱反応と吸熱反応】

みなさんがガスコンロで調理するとき、都市ガスのメタンが燃焼して熱が放出されています。1molのメタン CH_4 が燃焼すると891kJの熱を発生します。この反応について、各物質のもつエネルギー（これをエンタルピーといい、 H で表します）の相対関係を図で表すと、図40-1のエネルギー図で表せます。エネルギー図では、大きなエンタルピーをもつ物質を上、小さなエンタルピーをもつ物質を下に表記します。したがって、熱を発生する発熱反応では矢印が上から下へ向かいます。このときエンタルピーは反応後に減少しているのでエンタルピー変化 ΔH は負になります。

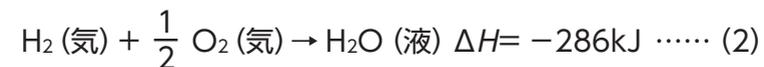
一方、周囲から熱を吸収する反応もあります。石炭を真っ赤になるまで加熱して水蒸気を触れさせると、石炭中の黒鉛 C が反応して一酸化炭素と水素ガスが発生します。1molの黒鉛 C が反応すると131kJの熱が吸収されます。この吸熱反応をエネルギー図で表すと図40-2のように表せます。



化学反応に伴って、発生または吸収される熱量を反応熱といいます。すべての物質は固有のエンタルピーをもっていて、化学反応がおこり、反応物が生成物に変化すると、その固有のエンタルピーの差が反応熱として表れるのです。

【エンタルピー変化と化学反応式】

水素の燃焼を化学反応式で表すと(1)式になります。この化学反応式に熱の出入りの情報を追加してエンタルピー変化を表すと、(2)式となります。二つ並べて違いを見てください。違いはどこか、わかりますか？ 答えは次のページを見てください。

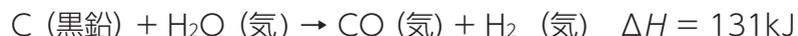


- ① 係数に分数がついている。
 ② H₂、O₂のあとに(気)とついている。H₂Oのあとに(液)とついている。
 ③ 反応のエンタルピー変化の値が書いてある。
 この3つですね。なぜそうするのか、解説します。

① エンタルピー変化では、着目している物質の係数を「1」とする決まりがあります。ここで着目しているのはH₂の燃焼エンタルピーなのでH₂の係数を1にします。そのためにO₂の係数は分数になってもOKなのです。

② エンタルピー変化を表す式では液体を表す(液)、気体を表す(気)など、物質の状態を化学式のあとに書きます。ただし、H₂やO₂は通常気体なので省略することも多いです。

③ H₂が1mol燃焼したときの反応エンタルピーは-286kJなので、この変化量を式の後に書き加えます。ちなみに、図40-1と図40-2の反応エンタルピーは以下のように表されます。



黒鉛とダイヤモンドではエンタルピーが異なるために、C(固)ではなく、同素体名を付記しています。



化学変化どころか物理変化まで エンタルピー変化で表せます

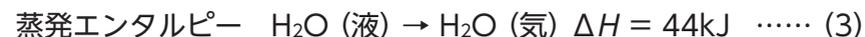
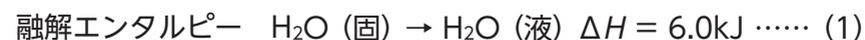
～いろいろな反応エンタルピー～

反応エンタルピーの表し方を理解したところで、いろいろな反応エンタルピーの式を実際に作ってみましょう。氷が融けて水になるという単なる状態の変化は化学反応ではありませんが、熱の出入りを伴っているために反応エンタルピーで表すことができるのです。他にも溶解エンタルピーや中和エンタルピーも反応エンタルピーで表せます。

《状態変化を反応エンタルピーで表す》

23節で水の状態変化について解説しました。1013hPaのもとで、0℃1molの氷が融解するときに吸収する熱量は6.0kJです。これを融解エンタルピーといい(1)式のように表します。もちろんこれは逆向きを書いて、(2)式のように水が氷に変化するときに発生する熱量(凝固エンタルピー)として表すこともできます。

また、1013hPaのもとで、25℃1molの水が蒸発するときに吸収する熱量は44kJです。これを蒸発エンタルピーといい、(3)式のように表します。





有機化学、有機農業、 有機肥料…有機って何だろう？

～ 有機の本当の意味は？ ～

有機化学で扱う有機化合物とは、CO、CO₂などの無機物を除いた、炭素原子を含む化合物を指します。なぜ「有機」という言葉を使うのかというと、この「機」は、生命機能を表し、これが「有る」、すなわち生きているものからしか作られないものを「有機物」とよんでいたからです。これが、黒鉛を燃やせばすぐにできる一酸化炭素や二酸化炭素を有機化合物に含まない理由です。

昔は有機化合物は生物のみが作り出せるもので、人工的に合成するのは不可能だと考えられていました。しかし、ドイツの化学者ウェーラーは1828年に、シアン酸アンモニウムという無機物質から、尿素という生体でしか作れないはずの有機化合物を実験室で合成することに成功しました。



それ以来無数の有機化合物が人工的に作り出されていて、現在では従来の「有機」の定義はすっかり崩れてしまいましたが、私たちの生活に密接にかかわる炭素化合物を表すのに便利なので、今でもその名前だけが残っているのです。

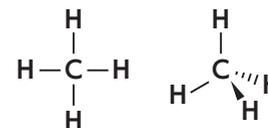
【有機化合物の基本コンセプト】

炭素原子は4本の共有結合を作ることができます。この共有結合を「手」と表現して、この手に水素をつけてみましょう。水素の「手」

は1本なので、全部で4個の水素をつけられます。これは「メタン」とよばれる物質で、最も単純な有機化合物です。図96-1の左がメタンを平面上に描いたもの、右がメタンの実際の形を立体的に描いたもので、紙面の手前に入る手を黒い三角形で、奥に向かう手を点線で表しています。

図 96-1

メタンの平面状の図（左）と立体的に表現した図（右）

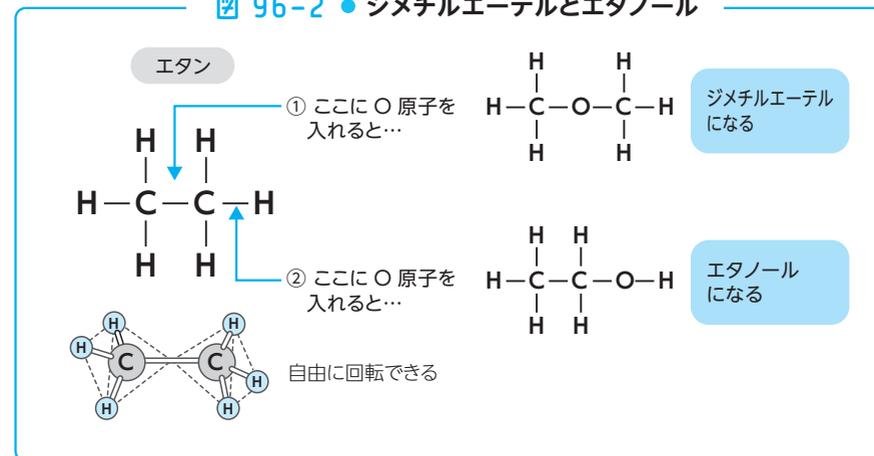


メタンからさらにCの数を1個増やすとエタンができます。

さらにエタンの2つのC原子の間やC-H結合の間に2本の「手」をもつO原子を入れれば、また別の有機化合物ができます(図96-2)。これが有機化合物が無数に存在する理由です。

無数に存在する有機化合物をどのように書くのかは次節で説明します。ジメチルエーテルとエタノールは構造式で書くと明らかに違う物質ですが、分子式で書くと同じC₂H₆Oになります。このような物質の関係を構造異性体といいます。構造異性体は有機化学を理解するうえで重要なキーワードですので、98節に詳しく解説しました。

図 96-2 ● ジメチルエーテルとエタノール





無数にある有機化合物を 分類して整理しよう

～ 炭素骨格による分類と官能基による分類 ～

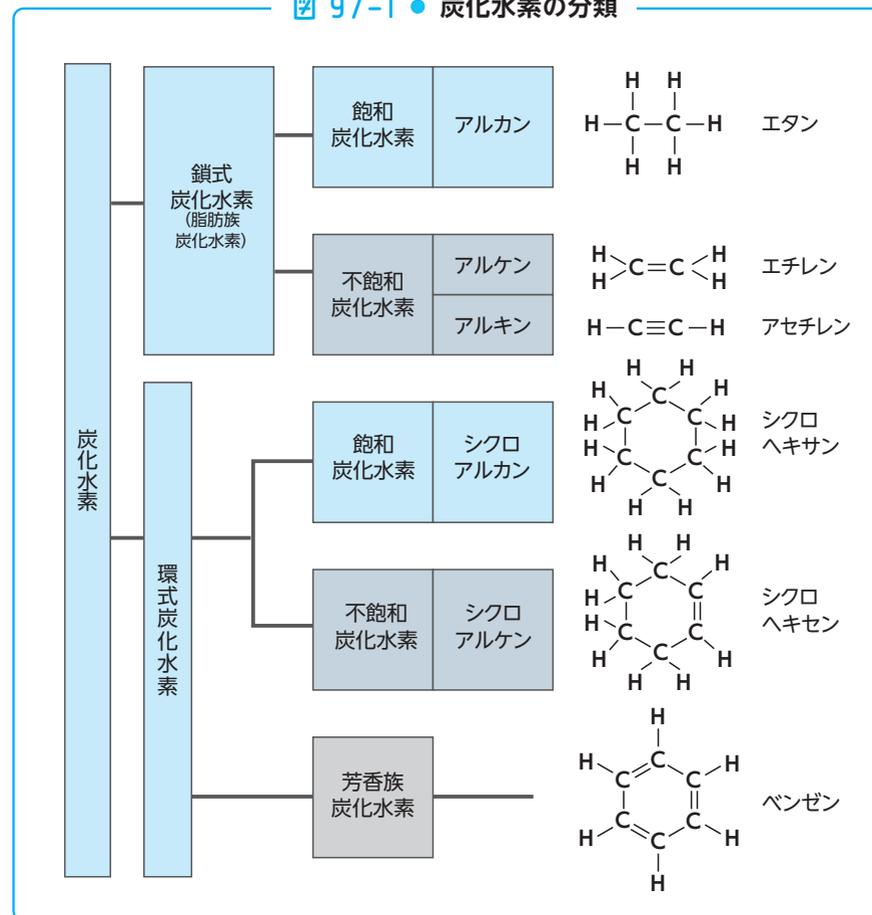
有機化合物は無数にあるので、グループに分けられれば便利です。分類の方法としては炭素原子 C と水素原子 H のみからなるグループを炭化水素といい、C、H 以外にも酸素原子 O や窒素原子 N などを含むものと区別します。これが基本となる分類です。その上で炭化水素と炭化水素以外をどう分類するのか見ていきましょう。

【炭化水素の分類】

まず、炭化水素の C のつながり方に注目し、環状構造をとらない直鎖状の鎖式炭化水素（脂肪には、鎖状の炭化水素しか含まれないために、鎖式炭化水素のことを脂肪族炭化水素ともいいます）と環式炭化水素で分けます。環式炭化水素のうち、ベンゼン環を含む化合物は芳香族炭化水素として特別扱いとします（その理由は 113 節で説明します）。

また、それぞれの炭化水素をさらに C 原子間の結合がすべて単結合である飽和炭化水素と、二重結合や三重結合を含む不飽和炭化水素に分けます。鎖式炭化水素のうち、飽和炭化水素をアルカン、二重結合を 1 つ含む不飽和炭化水素をアルケン、三重結合を 1 つ含む不飽和炭化水素をアルキンといいます。環式炭化水素は頭に「シクロ～」をつけるのが決まりです。

図 97-1 ● 炭化水素の分類



【官能基による分類】

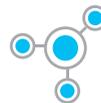
例えばメタノール CH_3OH はメタン CH_4 の H 原子 1 個を $-\text{OH}$ という原子団で置き換えた構造と考えることができます。同様にエタノール $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ もエタン C_2H_6 の 1 つの H を $-\text{OH}$ で置き換えた構造と考えられます。このヒドロキシ基 $-\text{OH}$ をもつ有機化合物には沸点が高く、アルカリ金属と反応するという共通の特徴があるので、これを 1 つのグループにまとめます。このように有機化合物は表 97-1 のように様々な官能基の種類により分類されます。



表 97-1 ● 官能基による分類

官能基の種類	構造	化合物の一般名	化合物の例
ヒドロキシ基	—OH	アルコール R—OH	メタノール CH ₃ —OH
		フェノール類 R—OH	フェノール C ₆ H ₅ —OH
エーテル結合	—O—	エーテル R ¹ —O—R ²	ジエチルエーテル C ₂ H ₅ —O—C ₂ H ₅
ホルミル基	$\begin{array}{c} \text{—C—H} \\ \\ \text{O} \end{array}$ <small>アルデヒド基ともいう</small>	アルデヒド R—CHO	アセトアルデヒド CH ₃ —CHO
カルボニル基	$\begin{array}{c} \text{—C—} \\ \\ \text{O} \end{array}$ <small>ケトン基ともいう</small>	ケトン R ¹ —CO—R ²	アセトン CH ₃ COCH ₃
カルボキシ基	$\begin{array}{c} \text{—C—OH} \\ \\ \text{O} \end{array}$	カルボン酸 R—COOH	酢酸 CH ₃ —COOH
エステル結合	$\begin{array}{c} \text{—C—O—} \\ \\ \text{O} \end{array}$	エステル R ¹ —COO—R ²	酢酸エチル CH ₃ —COO—C ₂ H ₅
ニトロ基	—NO ₂	ニトロ化合物 R—NO ₂	ニトロベンゼン C ₆ H ₅ —NO ₂
アミノ基	—NH ₂	アミン R—NH ₂	アニリン C ₆ H ₅ —NH ₂
スルホ基	—SO ₃ H	スルホン酸 R—SO ₃ H	ベンゼンスルホン酸 C ₆ H ₅ —SO ₃ H

98



異性体を理解すると 有機化学が理解できる！

～ 構造異性体と立体異性体 ～

有機化合物には、分子式が同じでも原子の結合の仕方が異なる化合物が複数存在することがあります。このような化合物を異性体といいます。異性体には構造異性体と立体異性体があり、立体異性体はさらにシス・トランス異性体（幾何異性体）と鏡像異性体（光学異性体）の2種類があります。

構造異性体とは、原子の結合の順序が異なることで構造式が異なる異性体のことです。まずは直線状の炭化水素について見ていきましょう。表 98-1 には C が 1～7 個の炭化水素のうち、C が直鎖状に並んだアルカンの名称とその構造異性体の数がまとめてあります。

表 98-1

分子式	名称	構造異性体の数
CH ₄	メタン	0
C ₂ H ₆	エタン	0
C ₃ H ₈	プロパン	0
C ₄ H ₁₀	ブタン	2
C ₅ H ₁₂	ペンタン	3
C ₆ H ₁₄	ヘキサン	5
C ₇ H ₁₆	ヘプタン	9

図 98-1

