高校化学 L01 第 140 講 有機化合物と官能基

この講でできるようになること

- 有機化合物の特徴を、炭素骨格と結合関係から説明できる。
- 分子式・構造式・示性式の情報の違いを理解し、同じ分子式でも異なる物質になる場合を判断できる。
- 代表的な官能基を結合関係から見分け、物質群を分類できる。

有機化合物とは

有機化合物は、炭素化合物を中心とする化合物群である。ただし、炭素を含む化合物がすべて有機化合物として扱われるわけではない。例えば、二酸化炭素CO_2、一酸化炭素CO、炭酸塩などは炭素を含むが、慣例的に無機化合物として扱われる。また、有機化合物は生物由来の物質だけを意味するものではなく、人工的に合成された化合物も含まれる。炭素単体であるダイヤモンドや黒鉛も、有機化合物には分類されない。

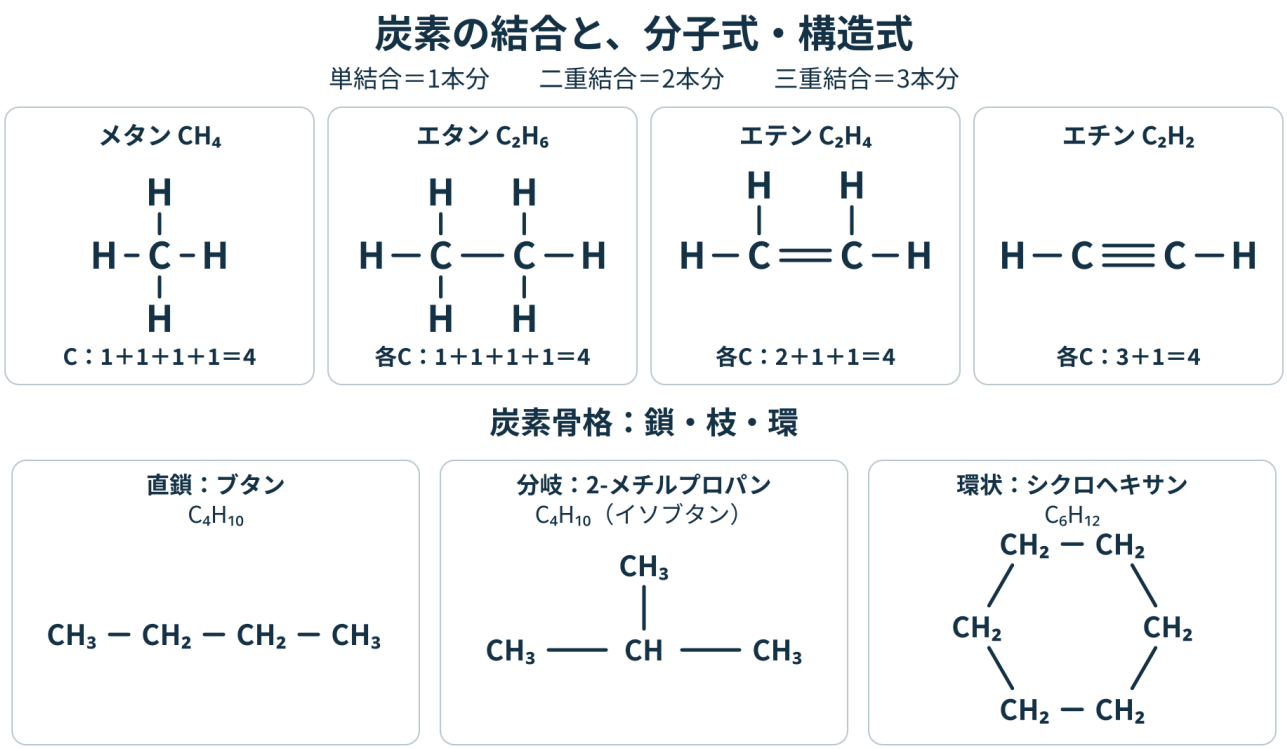
有機化合物の分類は炭素を含むかどうかだけで決まるものではなく、炭素を中心とした結合関係によって考える。

炭素骨格と原子価

本講で扱う、形式電荷のない原子の基本的な構造では、結合次数の合計は炭素が 4、酸素が 2、窒素が 3、水素が 1 となる。炭素同士が結合することで、鎖状、枝分かれ状、環状などの骨格を形成できる。結合の種類は、単結合を 1、二重結合を 2、三重結合を 3 として結合次数を数える。例えば、メタンCH_4では炭素は 4 個の水素と結合している。エタンCH_3-CH_3では、それぞれの炭素が 3 本の C-H 結合と 1 本の C-C 結合を持つ。

エテン$CH_2=CH_2$では二重結合を 2 本分として数えるため、それぞれの炭素は 2 本の C-H 結合と 1 本の C=C 二重結合で合計 4 になる。エチン$HC\equiv CH$では三重結合を 3 本分として数え、炭素の結合次数合計は 4 になる。平面上に描いた構造式の線は、原子同士の結合関係を表している。そのため、紙面上の形がそのまま分子全体の実際の立体配置を示すとは限らない。

©ミライコーチング



骨格の比較では、Cに結合するHをCH_3・CH_2・CHのようにまとめて表示。

図 1　炭素の結合次数合計と、同じ分子式でも異なる結合関係を比べる。

分子式・構造式・示性式

化学式には、表している情報の種類によって違いがある。分子式は、分子を構成する原子の種類と数を表す。しかし、分子式だけでは原子同士のつながり方までは分からない。例えば、分子式C_2H_6Oを持つ化合物には、CH_3CH_2OHで表されるエタノールと、CH_3OCH_3で表されるジメチルエーテルがある。どちらも炭素 2 個、水素 6 個、酸素 1 個を含むが、酸素原子の結合相手が異なる。

エタノールでは酸素が炭素と水素に結合している。一方、ジメチルエーテルでは酸素が 2 つの炭素の間に存在する。このように、同じ分子式でも結合関係が異なる物質が存在する。示性式は、特徴的な原子団をまとめて表し、物質の特徴的な結合を分かりやすく示す書き方である。構造式はすべての結合関係を示すのに対し、示性式は特徴的な部分に注目して表す。分子式だけから官能基を一意に決めることはできない。

官能基による分類

官能基とは、有機化合物の特徴的な性質や反応に関係する原子または原子団である。官能基を見るときは、単に文字列を探すのではなく、どの原子がどの原子と結合しているかを確認する。本講では、代表的な 7 種類の物質群を扱う。

物質群	代表例	特徴的な構造
アルコール	CH_3CH_2OH	ヒドロキシ基$-OH$
エーテル	CH_3OCH_3	$C-O-C$結合
アルデヒド	CH_3CHO	末端の$-CHO$
ケトン	CH_3COCH_3	炭素 2 個に結合した$C=O$
カルボン酸	CH_3COOH	カルボキシ基$-COOH$
エステル	CH_3COOCH_3	$-COO-$結合
アミン	CH_3NH_2	アミノ基$-NH_2$

これらの分類は代表例に基づくものであり、官能基はこれですべてではない。また、同じ官能基を持つ化合物でも、炭素骨格や官能基の数によって性質は変化する。

酸素を含む官能基

アルコールでは、ヒドロキシ基$-OH$が飽和炭素に結合している。CH_3CH_2OHでは、酸素が炭素と水素の両方に結合している。エーテルでは、CH_3OCH_3のように、酸素が 2 つの炭素をつないでいる。この代表例のジメチルエーテルには$O-H$結合はない。アルデヒドでは、CH_3CHOのように、カルボニル基$C=O$を持つ炭素に水素が結合している。

ただし、$C=O$の炭素に水素があるという条件だけで、すべてをアルデヒドと判断することはできない。例えば、ギ酸$HCOOH$では$-COOH$を持つため、カルボン酸に分類される。ケトンでは、CH_3COCH_3のように、$C=O$の炭素が 2 つの炭素へ結合している。アルデヒドとケトンはいずれも$C=O$を持つが、隣接する原子の違いによって分類される。

カルボン酸とエステル

カルボン酸では、CH_3COOHのように、カルボキシ基$-COOH$を持つ。カルボキシ基は$-C(=O)-OH$というまとまりであり、$C=O$の炭素に$-OH$の酸素が単結合している。そのため、OHがあるという理由だけでアルコールに分類しない。エステルでは、CH_3COOCH_3のように、$-COO-$結合を持つ。

このエステルでは、$C=O$の炭素に単結合する酸素の、もう一方の結合相手は炭素である。エステル結合部分には$O-H$結合はない。$C-O-C$という一部分だけを見るとエーテルと似ているが、全体の結合関係を見て分類する。

窒素を含む官能基

アミンの代表例として、CH_3NH_2がある。これはアミノ基$-NH_2$を持つ化合物である。この代表例では、形式電荷を持たない窒素原子が 3 本の単結合と 1 組の非共有電子対を持つ。本講では代表的なアミン構造を扱い、すべてのアミンを同じ構造として扱うわけではない。

©ミライコーチング

官能基を読む手順

有機化合物を分類するときは、次の順序で結合関係を見る。

1. 分子全体の原子数と炭素骨格を確認する。
2. $-COOH$や$-COO-$のようなまとまりを先に確認する。
3. $C=O$の有無と、その炭素に結合する原子を確認する。
4. $O-H$、$C-O-C$、NH_2などの特徴的な結合を確認する。
5. 官能基と炭素骨格を合わせて物質群を判断する。
6. 最後に原子価と分子式が一致するか確認する。

特に、OHという文字だけでアルコールと判断することはできない。カルボン酸では$-COOH$の一部としてOHを持つため、結合関係を見る必要がある。複数の官能基を持つ化合物も存在するが、本講では代表的な単官能基構造を中心に扱う。

©ミライコーチング

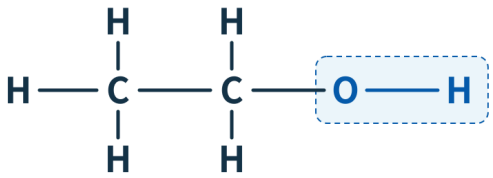
代表的な官能基と物質群

青い囲みと結合に注目して、隣り合う原子をたどる

アルコール

エタノール　CH_3CH_2OH

ヒドロキシ基（−OH）

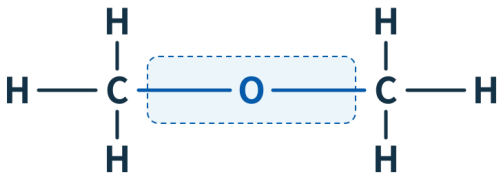


本例のOHは飽和炭素に結合

エーテル

ジメチルエーテル　CH_3OCH_3

エーテル結合（C−O−C）

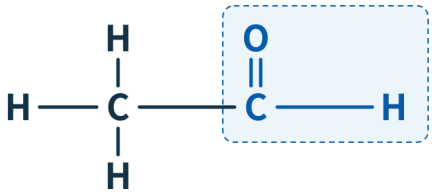


Oは2個のCと結合、O−Hはない

アルデヒド

アセトアルデヒド　CH_3CHO

アルデヒド基（−CHO）

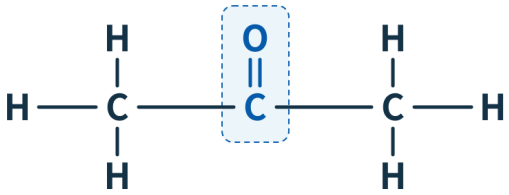


本例のC=OのCにはHが結合

ケトン

アセトン　CH_3COCH_3

カルボニル基（C=O）

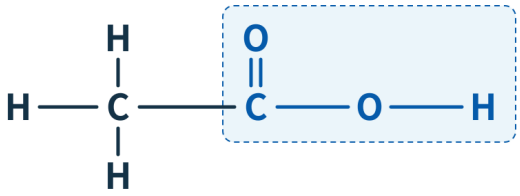


C=OのCには2個のCが結合

カルボン酸

酢酸　CH_3COOH

カルボキシ基（−COOH）

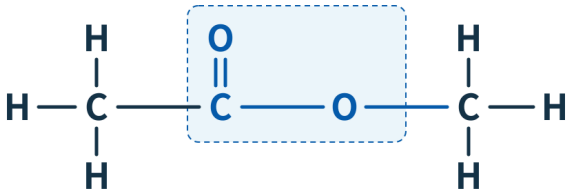


C(=O)−O−Hをひとまとまりに

エステル

酢酸メチル　CH_3COOCH_3

エステル結合（−COO−）

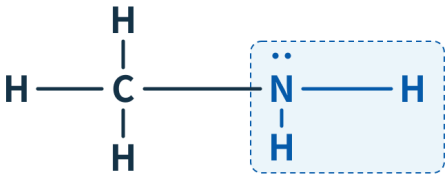


C(=O)−O−Cのつながりを読む

アミンの代表例

メチルアミン　CH_3NH_2

アミノ基（−NH_2）



第一級アミンの例。Nの結合は3本

構造を読むときの約束

1　酸・エステルは囲んだ全体で判断

2　OHだけ、C=Oだけで分類しない

3　示した7種類は代表例

全てのアミンが−NH_2をもつとは限らない

Nの2点は非共有電子対1組

この図では、電子対はNだけに表示

各原子が形式電荷0の基本構造を扱う

結合次数の合計：C＝4、O＝2、N＝3、H＝1

結合線はつながりを表す。図の向き・角度を実際の立体配置とはみなさない。

図 2　原子団の文字だけでなく、結合のつながりから代表的な物質群を識別する。

©ミライコーチング

例題

例題 1

示性式として、

$A = CH_3CH_2OH$、$B = CH_3OCH_3$で表される 2 つの化合物について考える。

(1) A、B それぞれの分子式を求め、A と B が同じ物質であるといえるか説明せよ。

(2) A と B について、酸素原子がどの原子へ結合しているかを比較し、それぞれの物質群と特徴的な官能基または結合を答えよ。

解答・解説

(1)

A について原子数を数えると、CH_3CH_2OHより、炭素 2 個、水素 6 個、酸素 1 個である。したがって、A の分子式は、C_2H_6Oである。B についても、CH_3OCH_3より、炭素 2 個、水素 6 個、酸素 1 個である。したがって、B の分子式も、C_2H_6Oである。しかし、分子式が同じでも結合関係が異なる場合がある。

物質	分子式	酸素の結合
A	C_2H_6O	炭素と水素に結合
B	C_2H_6O	2 つの炭素の間に結合

このため、A と B は同じ分子式を持つが、同じ物質ではない。分子式は原子の種類と数を示すが、原子同士のつながり方までは示さない。

(2)

A では、CH_3CH_2OHのように、酸素が炭素と水素に結合している。この$-OH$はヒドロキシ基であり、A はアルコールに分類される。一方、B では、CH_3OCH_3のように、酸素が 2 つの炭素をつないでいる。この結合は$C-O-C$のエーテル結合であり、B はエーテルに分類される。炭素は基本的に 4 本の結合を作り、酸素は 2 本、水素は 1 本の結合を作る。そのため、酸素の位置や結合相手を見ることで分類できる。

単にOHという文字があるかどうかではなく、酸素がどの原子と結合しているかを確認することが重要である。

©ミライコーチング

例題 2

示性式として、

$A = CH_3CHO$、$B = CH_3COCH_3$、$C = CH_3COOH$、$D = CH_3COOCH_3$で表される化合物について考える。ここでは、A の$-CHO$を$-C(=O)-H$、B の$-CO-$を$-C(=O)-$、C の$-COOH$を$-C(=O)-OH$、D の$-COO-$を$-C(=O)-O-$と読み、D の末尾の酸素はCH_3の炭素へ結合しているものとする。

(1) A〜D の物質群を分類し、$C=O$の炭素に結合している隣接原子の違いを説明せよ。

(2) 「C は OH を持つのでアルコールである」「D は$C-O-C$を持つのでエーテルである」という説明を訂正し、それぞれどのまとまりで分類するか説明せよ。

解答・解説

(1)
4 種類の構造を比較すると、

物質	示性式	物質群	$C=O$の炭素に結合する特徴
A	CH_3CHO	アルデヒド	$C(=O)$の炭素に H が結合
B	CH_3COCH_3	ケトン	$C(=O)$の炭素が 2 つの炭素に結合
C	CH_3COOH	カルボン酸	$C=O$の炭素に$-OH$の酸素が単結合
D	CH_3COOCH_3	エステル	$C=O$の炭素に O が結合し、その O が炭素につながる

A と B はともにカルボニル基$C=O$を持つ。しかし、$C=O$の炭素に何が結合しているかによって分類が変わる。A では水素が結合しているためアルデヒド、B では炭素が 2 つ結合しているためケトンである。C と D も$C=O$を含むが、$-COOH$や$-COO-$というまとまりで判断する。

(2)
「C は OH を持つのでアルコールである」という説明は誤りである。C の構造は、CH_3COOHであり、OHはカルボキシ基$-COOH$の一部である。したがって、C はアルコールではなくカルボン酸である。また、「D は$C-O-C$を持つのでエーテルである」という説明も誤りである。D では、CH_3COOCH_3のように、$C=O$と酸素を含む$-COO-$のまとまりがある。

そのため、エーテルではなくエステルに分類する。分類するときは、部分的な文字列ではなく、官能基全体の結合関係を見る。

物質	注目するまとまり	分類
C	$-COOH$	カルボン酸
D	$-COO-$	エステル

したがって、OHや$C-O-C$だけを切り取って判断することはできない。

演習問題

演習 1

炭素を含む以下の構造について考える。

CH_4、CH_3-CH_3、$CH_2=CH_2$、$HC\equiv CH$

(1) それぞれの炭素原子について、結合次数の合計を求めよ。

(2) 「二重結合を持つ炭素は原子 2 個と結合するから原子価 2 である」という説明を訂正し、$CH_2=CH_2$の各炭素に結合する相手原子数と結合次数の合計を説明せよ。

演習 2

次の 2 つの化合物について考える。

$A=CH_3CH_2OH$、$B=CH_3OCH_3$

(1) A、B の分子式を求め、それぞれの物質群を答えよ。

(2) 分子式C_2H_6Oだけでは官能基を 1 つに決定できない理由を、A と B の結合関係の違いから説明せよ。

演習 3

次の 4 つの化合物について考える。

$A=CH_3CHO$、$B=CH_3COCH_3$、$C=CH_3COOH$、$D=CH_3COOCH_3$

(1) A〜D の物質群をそれぞれ答えよ。

(2) C と D について、$C=O$の炭素に単結合する酸素に注目し、その酸素のもう一方の結合相手を比較して、特徴的なまとまりの違いを説明せよ。

演習 4

次の化合物について考える。

CH_3NH_2

(1) この化合物の代表的な物質群と特徴的な原子団名を答え、形式電荷を持たない窒素原子について、結合数と非共有電子対数を答えよ。

演習 5

次の説明について考える。

「炭素を含むCO_2や$CaCO_3$もすべて有機化合物であり、同じ官能基を持つ物質はすべて同じ性質を示す。」

(1) この説明の誤りを 2 つの観点から訂正せよ。それぞれについて、分類の考え方と物質の性質に影響する要素を説明せよ。

©ミライコーチング

演習問題の解答・解説

解答 1

(1)
炭素原子の結合次数の合計を考える。

構造	炭素の結合次数合計
CH_4	4
CH_3-CH_3	各炭素 4
$CH_2=CH_2$	各炭素 4
$HC\equiv CH$	各炭素 4

炭素は基本的な構造では 4 本の結合を作るため、どの構造でも各炭素の結合次数合計は 4 になる。

(2)
「二重結合を持つ炭素は原子 2 個と結合するから原子価 2 である」という説明は誤りである。$CH_2=CH_2$では、1 つの炭素は、

- 相手の炭素原子 1 個
- 水素原子 2 個

の合計 3 個の原子と直接結合している。しかし、二重結合は 2 本分として数えるため、$C=C$：2であり、炭素 1 個あたりの結合次数合計は、$2+1+1=4$となる。

直接結合している原子数と、結合次数の合計は別の考え方である。

解答 2

(1)
A は、CH_3CH_2OHであり、炭素 2 個、水素 6 個、酸素 1 個を含む。したがって、C_2H_6Oである。A ではヒドロキシ基$-OH$が飽和炭素に結合しているため、アルコールに分類される。B は、CH_3OCH_3であり、同じく、C_2H_6Oである。ただし、酸素が 2 つの炭素をつなぐ$C-O-C$結合を持つため、エーテルに分類される。

(2)
分子式C_2H_6Oは、原子の種類と数だけを示す。そのため、酸素がどの原子と結合しているかまでは分からない。

物質	酸素の結合関係	分類
CH_3CH_2OH	C-O-H	アルコール
CH_3OCH_3	C-O-C	エーテル

同じ分子式でも接続関係が異なるため、A と B は同じ物質ではない。

官能基を判断するときは、原子数だけでなく結合関係を見る必要がある。

©ミライコーチング

解答 3

(1)
A〜D を分類すると、

物質	示性式	物質群
A	CH_3CHO	アルデヒド
B	CH_3COCH_3	ケトン
C	CH_3COOH	カルボン酸
D	CH_3COOCH_3	エステル

となる。いずれも$C=O$を含むが、$C=O$の炭素に結合する原子やまとまりによって分類が変わる。

(2)
C は、CH_3COOHであり、$-C(=O)-OH$というまとまりを持つ。$C=O$の炭素に単結合する酸素の、もう一方の結合相手は水素である。そのため、カルボン酸に分類される。D は、CH_3COOCH_3であり、$-C(=O)-O-$というまとまりを持つ。$C=O$の炭素に単結合する酸素の、もう一方の結合相手はCH_3の炭素である。そのため、エステルに分類される。

OHという部分だけを見てアルコールと判断したり、$C-O-C$という一部分だけを見てエーテルと判断したりすることはできない。

全体の結合関係を見ることが重要である。

解答 4

(1)
CH_3NH_2は、代表的なアミンであり、アミノ基$-NH_2$を持つ。このCH_3NH_2では、形式電荷を持たない窒素原子が、

- 炭素 1 個との結合
- 水素 2 個との結合

の合計 3 本の結合を持つ。また、非共有電子対を 1 組持つ。したがって、この例では、

項目	内容
物質群	アミン
原子団	アミノ基$-NH_2$
N の結合数	3 本
非共有電子対	1 組

となる。

ただし、すべてのアミンが必ず$-NH_2$だけを持つわけではなく、本問の代表構造について考えている。

解答 5

(1)

説明の前半は誤りである。CO_2や$CaCO_3$は炭素を含むが、慣例的に無機化合物として扱われる。したがって、「炭素を含む化合物はすべて有機化合物である」とはいえない。分類は炭素の有無だけではなく、化学的な分類上の扱いによって決まる。説明の後半も誤りである。同じ官能基を持つ物質では、官能基に由来する共通した特徴が現れる場合がある。しかし、物質の性質は官能基だけで決まるわけではない。

炭素骨格や分子全体の構造なども影響するため、「同じ官能基を持つ物質はすべて同じ性質を示す」とはいえない。

有機化合物の分類では、官能基だけでなく全体の結合関係を見ることが重要である。