高校化学 L01 第 157 講 ベンゼンと芳香族化合物

この講でできるようになること

- ベンゼン環をもつ代表的な化合物を構造から識別できる。
- ベンゼンの環状構造と安定した性質の関係を説明できる。
- 単なる環状化合物と芳香族化合物を区別できる。

ベンゼンとは何か

ベンゼンは分子式 C_6H_6 で表される代表的な芳香族化合物である。6 個の炭素原子が環状につながり、それぞれの炭素に 1 個ずつ水素原子が結合した構造をもつ。

ベンゼンでは、6 個の炭素原子がつくる六員環が基本となる。環をつくる 6 個の炭素はすべて同じ立場にあり、それぞれが炭素–水素結合を 1 つずつもつ。

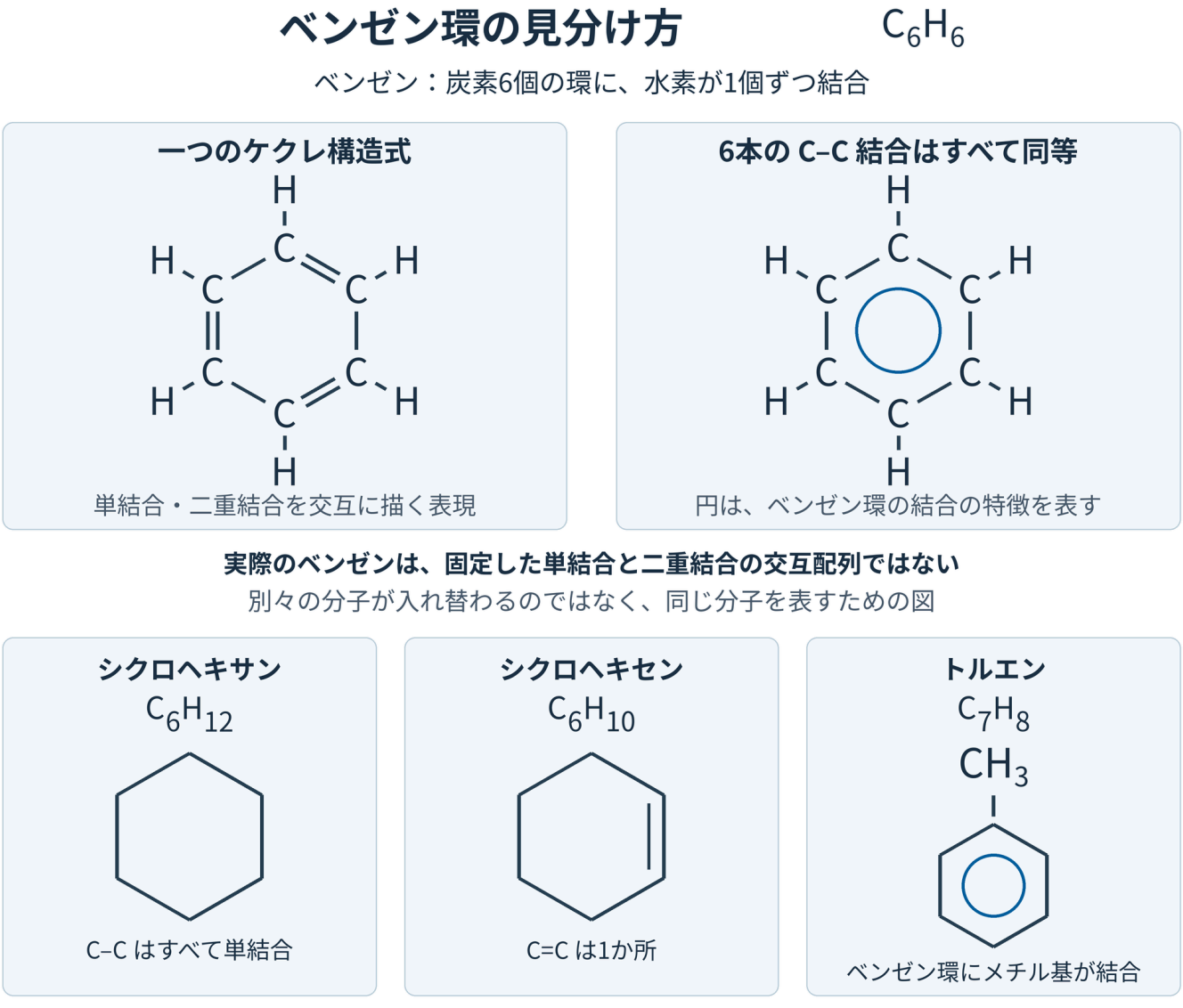

図 1　ベンゼン環と代表的な構造の比較

このような環状構造をもつことが、ベンゼンの特徴を理解する出発点となる。炭素が環状につながった化合物にはさまざまな種類があり、環状であることだけで芳香族化合物と判断することはできない。

ベンゼン環の構造

ベンゼンの炭素 6 個は正六角形に近い形で並んでいる。六員環の各炭素には水素が 1 個ずつ結合しており、分子全体では C_6H_6 となる。

高校化学では、ベンゼンを六角形の中に円を描いた形や、交互に単結合と二重結合をもつケクレ式で表すことがある。これらはベンゼンの構造を表すための異なる表現である。

ただし、実際のベンゼンでは炭素–炭素結合はすべて等価であり、3 本の単結合と 3 本の二重結合が異なる長さで固定されているわけではない。また、2 種類の構造が別々の分子として高速で入れ替わっているわけでもない。

ベンゼン分子では 6 個の炭素が等価な関係にあることが重要である。この安定した環状構造が、ベンゼン特有の性質につながる。

環状化合物との違い

環状化合物とは、炭素原子などが輪のようにつながった化合物全体を指す。したがって、環状化合物のすべてが芳香族化合物になるわけではない。

例えば、シクロヘキサンは 6 個の炭素が環状につながった化合物であるが、ベンゼン環をもたないため、この講で扱う代表的な芳香族化合物には含まれない。

シクロヘキセンは炭素の環の中に二重結合を 1 つもつが、これもベンゼン環とは異なる構造である。一方、トルエンはベンゼン環にメチル基が結合した構造をもち、ベンゼン環をもつ代表的な芳香族化合物である。

この講で扱う化合物が芳香族化合物かを判断するときは、「環があるか」だけではなく、「ベンゼン環をもつ構造か」を確認することが大切である。

ベンゼンの基本的な性質

ベンゼンは常温で無色の液体であり、水には溶けにくい性質をもつ。また、揮発性や引火性があり、有害性もあるため、においを直接嗅ぐなどの扱いをしてはいけない。

芳香族という名前は、単に「よい香りがする物質」という意味ではない。この講では、ベンゼン環をもつ代表的な化合物を芳香族化合物として扱う。

ベンゼンとアルケンの反応性の違い

アルケンは炭素–炭素二重結合 $C=C$ をもつ不飽和炭化水素である。二重結合部分は反応しやすく、臭素分子が付加する反応を起こす。

一方、ベンゼンも炭素間に二重結合で表される部分をもつが、アルケンと同じように単純な二重結合が 3 本存在しているわけではない。6 個の炭素が等価につながった安定な環構造を形成しているため、アルケンのような付加反応は起こりにくい。

この違いは、同じ不活性な有機溶媒中の均一な一相で、臭素溶液の色の変化を利用して比較できる。暗所・室温・触媒なしという同じ条件では、通常のアルケンは $C=C$ に臭素が付加することで臭素の色が薄くなる。一方、ベンゼン環は同じ条件では臭素の付加を受けにくく、色の変化は起こりにくい。

©ミライコーチング

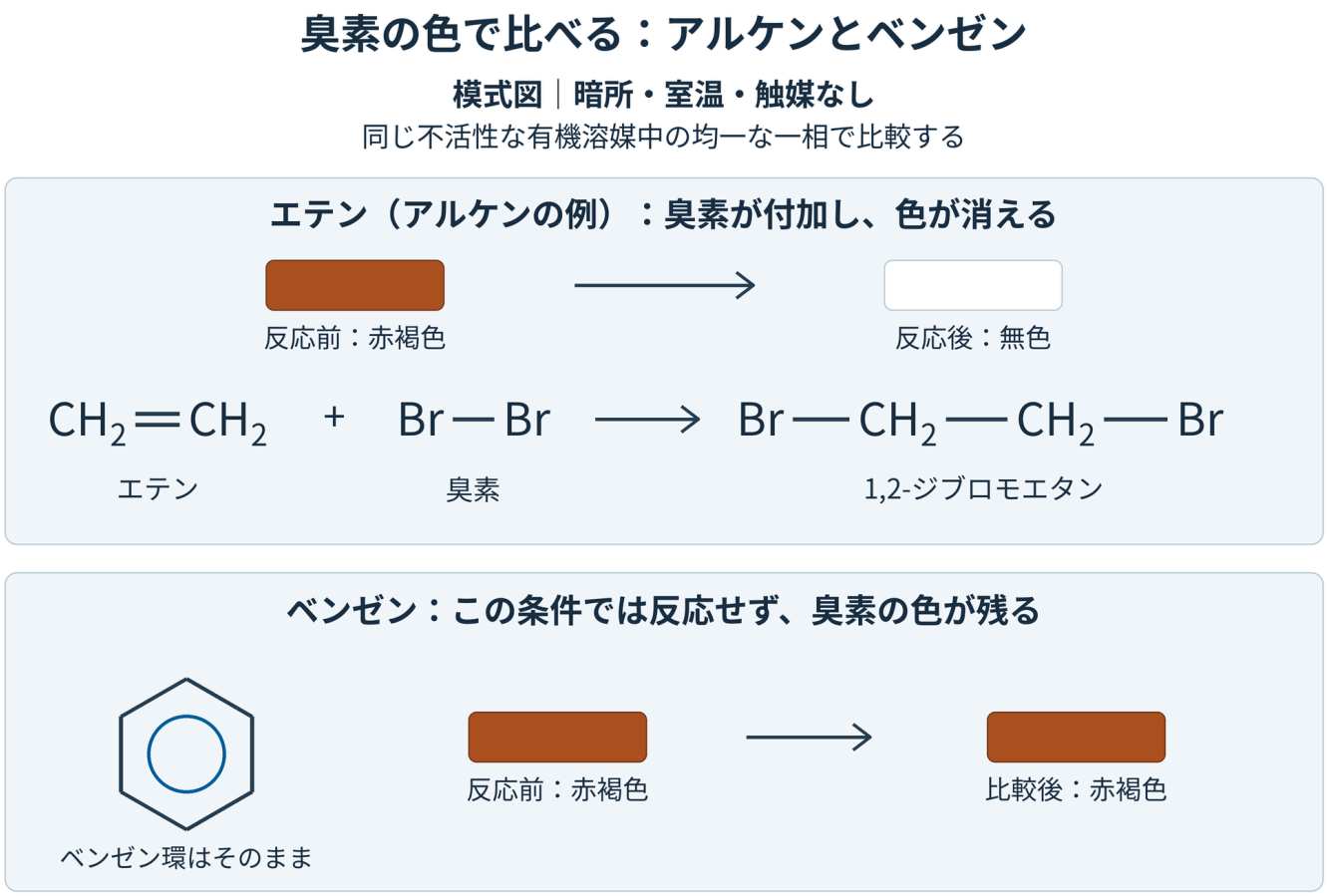

図 2　臭素溶液とアルケン・ベンゼンの反応性比較

ただし、ベンゼンがまったく反応しないわけではない。適切な条件では、ベンゼン環を保ったまま置換反応が起こる。反応条件や反応の詳しい仕組みは、後で扱う。

ベンゼンをアルケンの仲間として考える誤り

ベンゼンを「二重結合が 3 本ある物質」と考えると、アルケンの 3 倍反応しやすいように見える。しかし、この考え方は正しくない。

ベンゼンでは、6 個の炭素がつくる環全体が安定した構造をとっている。そのため、二重結合をもつアルケンとは反応性が異なり、単純に二重結合の数だけで反応性を判断することはできない。

構造を見るときは、結合の数だけでなく、その結合がどのようなまとまりをつくっているかを考えることが重要である。

©ミライコーチング

例題 1

次の問いに答えよ。

ベンゼン、シクロヘキサン、シクロヘキセン、トルエンについて考える。

(1) ベンゼン環をもつ化合物をすべて選べ。

(2) ベンゼンとトルエンの分子式をそれぞれ答えよ。

解答・解説

(1) ベンゼン、トルエンである。

解説

ベンゼン環とは、ベンゼンに見られる、6 個の炭素原子からなる特徴的な安定した環状構造である。

ベンゼンはベンゼン環そのものからなる。トルエンはベンゼン環にメチル基 $-CH_3$ が結合した構造であるため、ベンゼン環をもつ。

シクロヘキサンとシクロヘキセンも炭素が環状につながっているが、ベンゼン環とは異なる構造である。したがって、この講で扱う代表的な芳香族化合物には含まれない。

(2) ベンゼン：C_6H_6

トルエン：C_7H_8

解説

ベンゼンは 6 個の炭素と 6 個の水素からなるため、分子式は C_6H_6 である。

トルエンはベンゼンの水素 1 個がメチル基 $-CH_3$ に置き換わった構造である。ベンゼンから水素 1 個を失った C_6H_5 に CH_3 が加わるため、$C_6H_5 + CH_3 = C_7H_8$ となる。

例題 2

次の問いに答えよ。

暗所・室温・触媒なしという同じ条件で、同じ不活性な有機溶媒中の均一な一相で、臭素溶液を用いてアルケンとベンゼンの反応性を比較する。

(1) この条件で、アルケンとベンゼンでは臭素溶液の色にどのような違いが見られるか。

(2) ベンゼンを「二重結合が 3 本あるため、アルケンの 3 倍反応しやすい」と考えてはいけない理由を説明せよ。

解答・解説

(1) アルケンでは臭素溶液の色が薄くなるが、ベンゼンでは同じ条件では色が変化しにくい。

解説

アルケンでは炭素–炭素二重結合 $C=C$ に臭素が付加するため、臭素分子が消費され、臭素の色が薄くなる。

一方、ベンゼン環は安定した環構造をもつため、同じ条件ではアルケンのような付加反応を起こしにくい。そのため、臭素溶液の色は変化しにくい。

(2) ベンゼンでは 6 個の炭素が等価な安定した環構造をつくっており、単純な二重結合が 3 本ある物質ではないため。

解説

ベンゼンはケクレ式では交互の単結合と二重結合で表されることがある。しかし、実際には炭素–炭素結合はすべて等価であり、アルケンの二重結合が 3 個独立して存在する構造ではない。

そのため、二重結合の数だけから反応性を判断することはできず、環全体の安定した構造を考える必要がある。

演習問題

演習 1

次の物質について答えよ。

ベンゼン、シクロヘキサン、シクロヘキセン、トルエンについて考える。

(1) ベンゼン環をもつ物質をすべて選べ。

(2) ベンゼン環をもつ物質と、単なる環状化合物との違いを、構造に注目して説明せよ。

演習 2

ベンゼンとトルエンの構造について考える。

ベンゼンは 6 個の炭素と 6 個の水素からなる分子であり、トルエンはベンゼン環にメチル基 $-CH_3$ が結合した化合物である。

(1) ベンゼンの分子式を答えよ。

(2) トルエンの分子式を答えよ。

演習 3

次の 4 つの物質について考える。

ベンゼン、シクロヘキサン、シクロヘキセン、トルエン

(1) 物質名と構造条件から判断して、芳香族化合物として扱う物質をすべて選べ。

(2) 「環状構造をもつ物質はすべて芳香族化合物である」という考えが誤りである理由を説明せよ。

演習 4

暗所・室温・触媒なしという同じ条件で、同一の不活性溶媒中に溶かした臭素溶液を用いて、アルケンとベンゼンの反応性を比較する。

(1) この条件で、通常のアルケンとベンゼンでは臭素溶液の色の変化にどのような違いが見られるか答えよ。

演習 5

ベンゼンの性質について考える。

(1) ベンゼンを「二重結合が 3 本あるため、アルケンの 3 倍反応しやすい」と考えてはいけない理由を説明せよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

問 1：ベンゼン環をもつ物質は、ベンゼンとトルエンである。

ベンゼンは 6 個の炭素原子が環状につながり、6 本の炭素間結合が等価な安定した環構造をもつ。トルエンはベンゼン環にメチル基が結合した構造であるため、ベンゼン環をもつ。

シクロヘキサンとシクロヘキセンも炭素の環をもつが、ベンゼン環とは異なる構造である。

問 2：ベンゼン環をもつ化合物は、ベンゼンに見られる特徴的な安定した環構造をもつ。単結合だけの六員環や、二重結合を 1 つだけもつ六員環とは異なる。

そのため、環状であることだけを理由に芳香族化合物と判断することはできない。

©ミライコーチング

解答 2

問 1：ベンゼンの分子式は C_6H_6 である。

ベンゼンは 6 個の炭素原子と、それぞれに結合した 6 個の水素原子からなる。

問 2：トルエンの分子式は C_7H_8 である。

トルエンはベンゼンの水素 1 個がメチル基 $-CH_3$ に置き換わった構造である。ベンゼンの C_6H_5 に CH_3 が加わるため、$C_6H_5 + CH_3 = C_7H_8$ となる。

解答 3

問 1：芳香族化合物として扱う物質は、ベンゼンとトルエンである。

この講では、ベンゼン環をもつ代表的な化合物を芳香族化合物として扱う。シクロヘキサンやシクロヘキセンは環状構造をもつが、ベンゼン環とは異なる。

問 2：環状構造をもつだけでは芳香族化合物とは判断できないため。

この講で扱う化合物が芳香族化合物かを判断するときは、環があるかだけではなく、ベンゼン環をもつ構造かどうかを確認する必要がある。

解答 4

問 1：アルケンでは臭素溶液の色が薄くなるが、ベンゼンでは同じ条件では色が変化しにくい。

暗所・室温・触媒なし・同一不活性溶媒という条件では、アルケンは炭素–炭素二重結合 $C=C$ に臭素が付加するため、臭素が消費されて色が薄くなる。

一方、ベンゼン環は安定した構造をもつため、同じ条件ではアルケンのような付加反応を受けにくい。ただし、ベンゼンが絶対に反応しないわけではなく、適切な条件では別の反応が起こる。

解答 5

問 1：ベンゼンは、二重結合が 3 本独立して存在する物質ではなく、6 個の炭素が等価な安定した環構造を形成しているためである。

ベンゼンを単純なアルケンの集まりとして考えることはできない。そのため、二重結合の数だけで反応性を判断することはできない。

©ミライコーチング