高校化学 L01 第 96 講 温度・活性化エネルギー・触媒

対象：高 2 相当

この講でできるようになること

- 温度が反応速度へ影響する理由を、粒子のエネルギーと衝突から説明できる。
- 活性化エネルギーと反応座標をエネルギー図から読み取れる。
- 触媒が反応速度を大きくする理由と、反応前後のエネルギー差を変えないことを説明できる。

温度と反応速度

温度が高くなると、多くの反応では反応速度が大きくなる。 これは、粒子の平均運動エネルギーが大きくなり、十分なエネルギーを持つ粒子の割合が増えるためである。 反応物の種類や濃度などを同じにして温度だけを変化させると、高温では反応につながる衝突の機会が増える。

ただし、温度が上がったすべての粒子が同じエネルギーになるわけではない。 また、温度上昇によって活性化エネルギーの高さ自体が下がるわけではない。

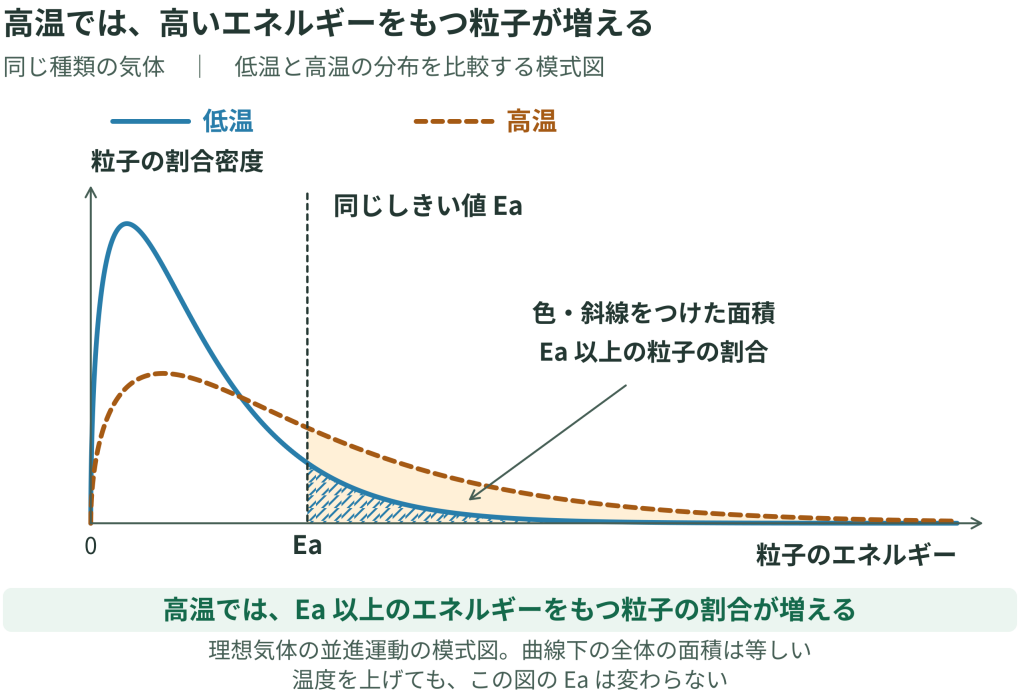

図 1　温度による粒子のエネルギー分布の違い。

図では、低温 T1 と高温 T2 における粒子のエネルギー分布を模式的に示している。 高温では分布が右側へ広がり、同じ活性化エネルギー Ea を超える粒子の割合が増える。 縦軸は粒子の割合の密度、横軸は粒子のエネルギーを表している。

この図は概念を理解するための模式図であり、数値的な割合を表すものではない。

©ミライコーチング

活性化エネルギーと反応座標

反応が進むには、反応物が活性化状態へ到達する必要がある。 活性化エネルギーとは、反応物から活性化状態へ達するために必要なエネルギーの障壁である。 反応座標は、反応物から生成物へ変化する反応経路上の進行を表すものであり、時間の経過を表す軸ではない。

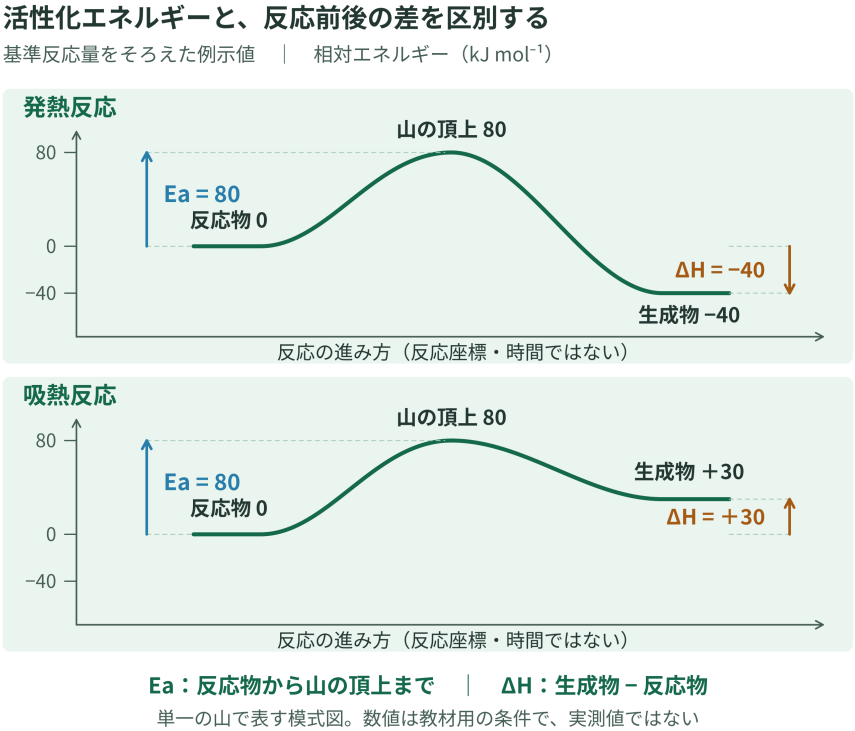

図 2　活性化エネルギーと反応エンタルピーの読み分け。

図では、発熱反応と吸熱反応のエネルギー変化を模式的に示している。 活性化エネルギーは反応物から山の頂点までの差である。 一方、反応エンタルピーは生成物のエネルギーから反応物のエネルギーを引いた差である。

例えば発熱反応では、生成物のエネルギーが反応物より低くても、反応が進むためには活性化エネルギーの障壁を越える必要がある。 この図は一段階に簡略化した模式エネルギー図であり、同じ反応量基準で比較している。 数値は教材用の条件であり、実測値ではない。

©ミライコーチング

触媒と反応速度

触媒は、反応物から生成物へ至る別の反応経路を与える。 触媒を用いると、活性化エネルギーの低い経路で反応が進むため、反応速度が大きくなる。

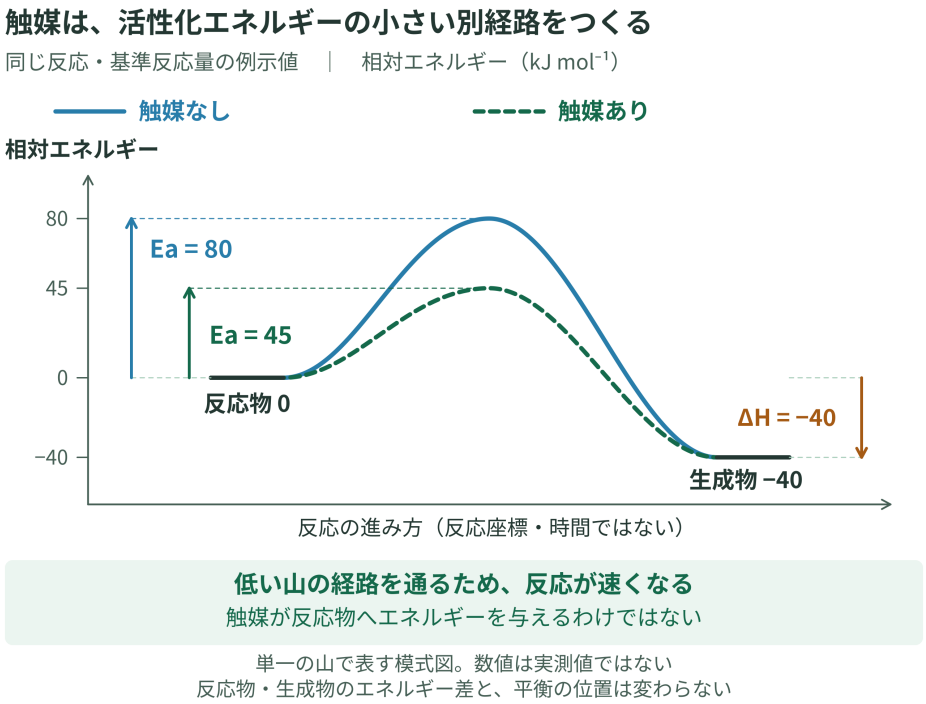

図 3　触媒による反応経路の違い。

図では、触媒なしの経路と触媒ありの経路を比較している。 触媒を用いても、反応物と生成物のエネルギー差は変化しない。 そのため、反応エンタルピーは変わらない。

触媒は反応途中で関与するが、全体として再生される。 また、正反応と逆反応の両方を速めるため、平衡に達するまでの時間を短縮するが、同じ温度での平衡の位置そのものは変えない。

活性化エネルギーを式で表す

以下の式は、本講の一段階に簡略化した同一模式図・同じ反応量基準におけるエネルギー差を表す。

$$E_{\mathrm{a}} = E_{\text{活性化状態}} - E_{\text{反応物}}$$

逆方向の活性化エネルギーを考える場合は、

$$E_{\mathrm{a,逆}} = E_{\text{活性化状態}} - E_{\text{生成物}}$$

となる。

また、同じエネルギー図では、

$$\Delta H = E_{\mathrm{a,正}} - E_{\mathrm{a,逆}}$$

の関係が成り立つ。

例題 1

同じ反応物を用い、濃度など他の条件をそろえて温度だけを変化させた。

1. 温度を高くすると反応速度が大きくなる理由を説明せよ。
2. 温度を上げると活性化エネルギーの値が小さくなるか説明せよ。

解答・解説

1.
温度が高くなると粒子の平均運動エネルギーが大きくなる。 その結果、活性化エネルギーを超えるエネルギーを持つ粒子の割合が増え、反応につながる衝突の機会が増える。

2.
小さくならない。

温度上昇は粒子のエネルギー分布を変化させるが、反応経路の障壁である活性化エネルギーそのものを下げるわけではない。

例題 2

ある反応の模式エネルギー図で、反応物のエネルギーを$0\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$、活性化状態のエネルギーを$80\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$、生成物のエネルギーを$-40\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$とする。

1. 正方向の活性化エネルギーを求めよ。
2. 反応エンタルピーと、発熱反応かどうかを答えよ。

解答・解説

1.
活性化エネルギーは反応物から活性化状態までの差である。

$$E_{\mathrm{a}} = 80 - 0$$

$$= 80\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$$

2.
反応エンタルピーは生成物と反応物の差である。

$$\Delta H = -40 - 0$$

$$= -40\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$$

負の値なので、この反応は発熱反応である。

ただし、発熱反応でも活性化エネルギーの障壁は存在する。

例題 3

ある発熱反応について、反応物のエネルギーを$0\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$、生成物のエネルギーを$-40\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$として、触媒なしと触媒ありの経路を比較する。

触媒なしでは反応物$0\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$と同じ基準の活性化状態が$80\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$、触媒ありでは活性化状態が$45\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$である。

1. 触媒によって何が変化したか説明せよ。
2. 触媒を用いたとき、反応エンタルピーが変化するか説明せよ。

解答・解説

1.
触媒によって別の反応経路が与えられ、活性化エネルギーが小さくなった。 そのため、反応速度が大きくなる。

2.
変化しない。

触媒は反応物と生成物のエネルギーを変えず、反応経路の障壁だけを変化させるためである。

演習問題

演習 1

温度だけを変化させ、その他の条件を同じにした反応について考える。

1. 高温の方が反応速度が大きくなる理由を説明せよ。
2. 温度上昇によって活性化エネルギーが低下するという説明が正しいか訂正せよ。

演習 2

図「活性化エネルギーと反応エンタルピーの読み分け」を用いる。

1. 発熱反応の活性化エネルギーを求めるために、どのエネルギー差を見るか説明せよ。
2. 反応エンタルピーと活性化エネルギーの違いを説明せよ。

演習 3

ある反応で、触媒なしの活性化エネルギーが$70\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$、触媒ありの活性化エネルギーが$40\,\mathrm{kJ\,mol^{-1}}$である。

1. 触媒によって反応速度が大きくなる理由を説明せよ。
2. 触媒によって反応物と生成物のエネルギー差が変化するか説明せよ。

©ミライコーチング

演習 4

同じ反応・初期量・温度・体積などをそろえ、反応途中で関与した触媒が再生される条件で、触媒を用いた反応と用いない反応を比較する。十分な時間をおいて平衡へ達した場合について考える。

1. 触媒を用いると反応が速くなる理由を説明せよ。
2. 十分な時間をおいて平衡へ達した後、最終的にできる生成物の量が必ず増えるか説明せよ。

演習 5

反応座標について説明する。

1.

反応座標の横軸は時間を表すという説明が正しいか訂正せよ。

演習問題の解答・解説

解答 1

1.
温度が高くなると粒子の平均運動エネルギーが大きくなる。 そのため、活性化エネルギーを超えるエネルギーを持つ粒子の割合が増え、反応につながる衝突が増える。

2.
正しくない。 温度上昇では活性化エネルギーの高さは変化しない。

粒子のエネルギー分布が変化し、障壁を越えられる粒子が増える。

解答 2

1.
活性化エネルギーは反応物から活性化状態までのエネルギー差を見る。 反応物と生成物の差ではない。

2.
活性化エネルギーは反応を開始するために必要な障壁である。

反応エンタルピーは反応物と生成物のエネルギー差であり、反応の発熱・吸熱を表す。

解答 3

1.
触媒によって活性化エネルギーの低い別の反応経路が与えられる。 そのため、反応できる粒子の割合が増え、反応速度が大きくなる。

2.
変化しない。

触媒は反応経路を変えるが、反応物と生成物のエネルギー差は変えない。

©ミライコーチング

解答 4

1.
触媒によって活性化エネルギーが小さくなり、反応につながる衝突の機会が増えるためである。

2.
必ず増えるとは言えない。 同じ温度条件では触媒は平衡組成を変えないため、十分な時間をおいて平衡へ達した後の生成物量は同じである。

ただし、一定時間後で比較する場合は、触媒を用いた方が反応速度が大きいため生成物量が異なることがある。

解答 5

1.
誤りである。 反応座標は反応物から生成物へ変化する反応経路上の進行を表す。

時間の経過を表す軸ではない。