

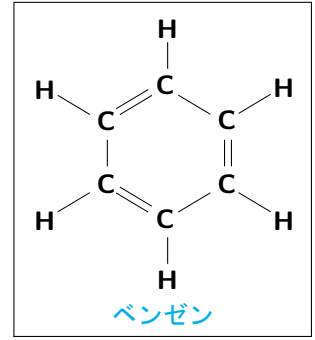


1 ベンゼン C₆H₆

- 構造 ① 6個の炭素原子が正六角形に結合した構造。炭素間の結合は全て1.5重結合(等価)である。
 ② 12個全ての原子が同一平面上にある。CやHを全て省略し、 や  で表す。
 ③ 不飽和度は4である。



- 性質 ① 芳香のある無色揮発性液体。引火性あり。有毒。水よりも軽く、水に浮く。
 ② 水とは混ざらないが、有機化合物をよく溶かす(有機溶媒として利用)。
 ③ 分子中のCの割合が大きいため、燃焼時に多量のすすを出す。

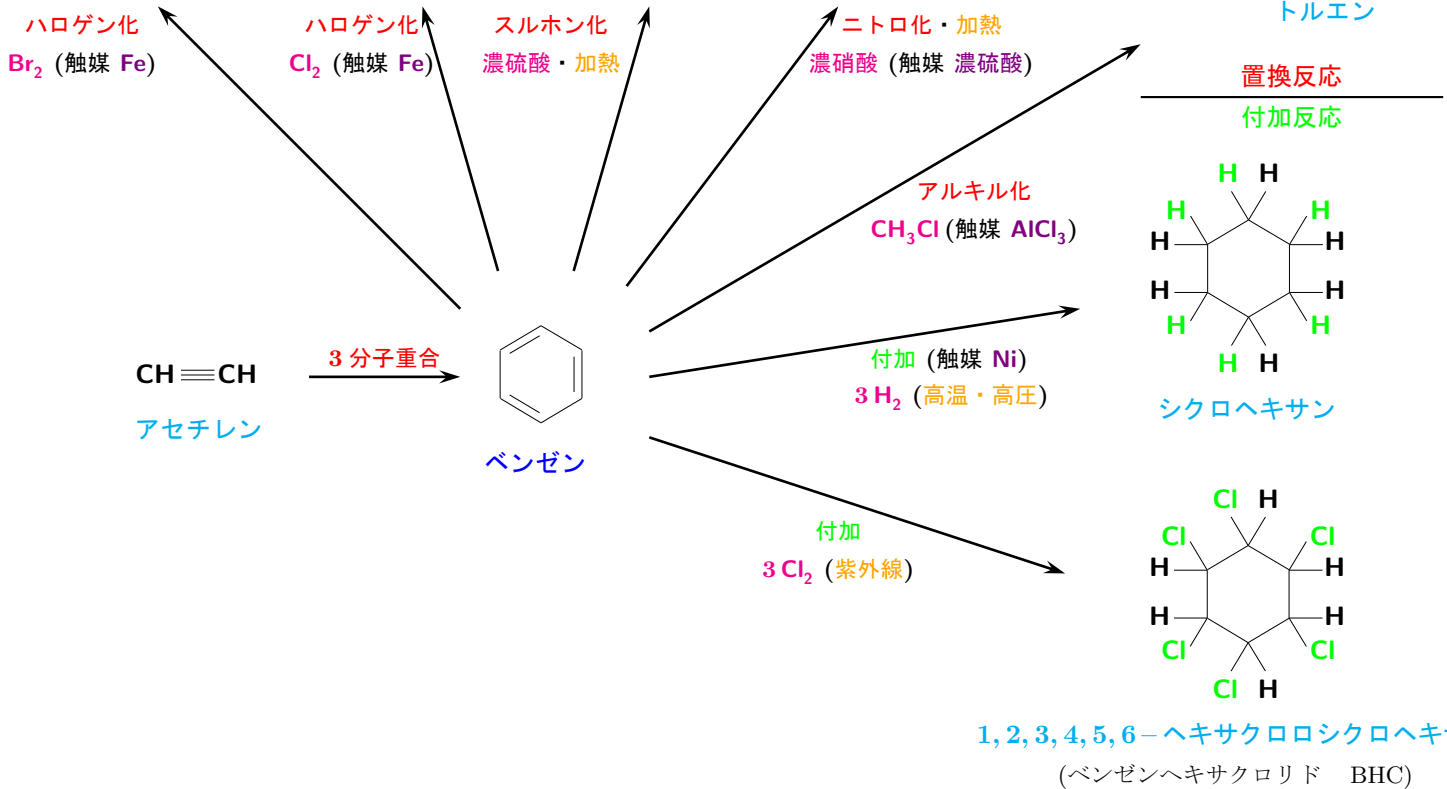
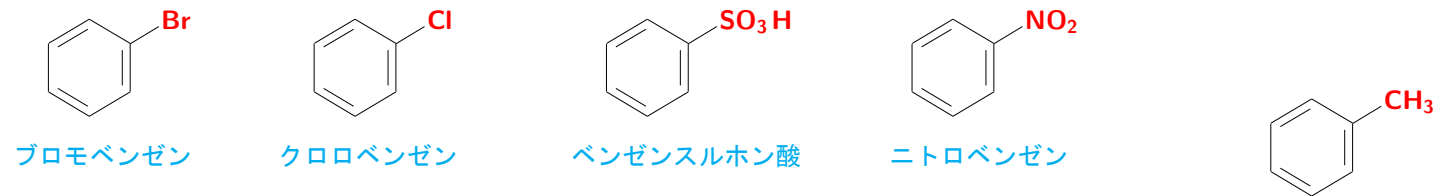
- 反応 ① 置換反応：起こりやすい。 ② 付加反応：高エネルギー下で無理矢理起こせる。(構造が平面から立体に変化)

ベンゼンは、便宜上右上のような構造式で表されるが、これは実際の構造ではない。実際には炭素原子間は単結合でも二重結合でもなく、完全に等価(1.5重結合)で区別できないため、CもHも省略した骨格表示が用いられる。結合距離は単結合と二重結合の中間で、完全な正六角形をなす。 単結合 > ベンゼンの炭素間結合(1.5重結合) > 二重結合 > 三重結合

炭素原子が6個のアルカンの水素原子の数は、 $2 \times 6 + 2 = 14$ 個(C₆H₁₄ヘキサン)であるから、ベンゼンの水素原子は最大数よりも8個少ない。よって、ベンゼンの不飽和度は $8 \div 2 = 4$ である。1.5重結合6つ(二重結合3つ)の不飽和度3に、環1つの不飽和度1が加わったと考えられる。

ベンゼンは非常に安定性の高い物質であるから、ベンゼン環を壊さない置換は起こりやすいが、付加反応はベンゼン環が壊れるため起こりにくい。

ベンゼンの誘導体

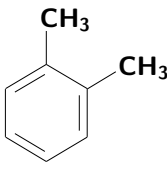
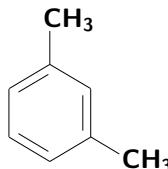
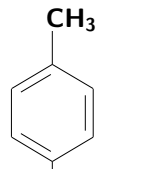
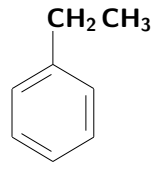


ニトロ化・スルホン化は、酸のOHとベンゼンのHがH₂Oとして脱離する。硝酸HNO₃と硫酸H₂SO₄をHO-NO₂、HO-SO₃Hと表すとわかる。
 ニトロ化 $C_6H_5-H + HO-NO_2 \rightarrow C_6H_5-NO_2 + H_2O$ スルホン化 $C_6H_5-H + HO-SO_3H \rightarrow C_6H_5-SO_3H + H_2O$
 ニトロ化するときに使われる濃硝酸と濃硫酸の混合物を混酸という。
 アルキル化 AlCl₃を触媒として、ハロゲン化アルキルを反応させてアルキルベンゼンを得る。 $C_6H_5-H + Cl-CH_3 \rightarrow C_6H_5-CH_3 + HCl$
 付加してできたシクロヘキサンの環は、もはやベンゼン環ではなく、立体的な環構造をとっている。
 ニトロベンゼン C₆H₅-NO₂の性質 淡黄色の中性液体。水より密度が大きいため、底部にたまる。

2 位置異性体

ベンゼンの二置換体には、側鎖の位置による3個の位置異性体(構造異性体の一種)がある。

基準の置換基と近いものから順に、オルト(o-), メタ(m-), パラ(p-)と命名する。

C ₈ H ₁₀ の芳香族化合物の異性体			
二置換体			一置換体
			
o-キシレン	m-キシレン	p-キシレン	エチルベンゼン

分子式C₈H₁₀の芳香族炭化水素の異性体を考える。8個のCに対するHの最大数2×8+2=18より8個少ないから、不飽和度は4である。ベンゼン環だけで不飽和度が4であるから、ベンゼン環以外はすべて単結合からなる炭化水素である。後は、ベンゼン環以外のCを、2個のメチル基-CH₃とするか1個のエチル基-C₂H₅とするかである。

エチル基をつけると、一置換体のエチルベンゼンができる。ベンゼン環の6個のCは等価でどこにつけても同じなので、これの位置異性体はない。

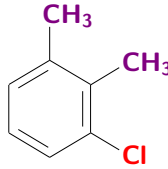
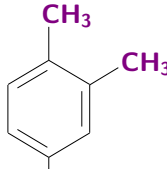
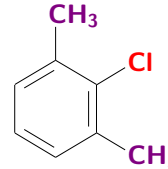
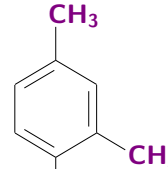
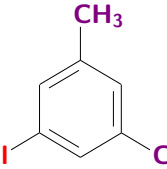
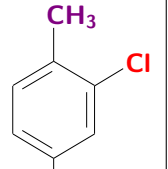
2個のメチル基をつけた二置換体には、3個の位置異性体が存在する。慣用名のキシレンは暗記。

裏返すと一致するものは同一物であるから、ベンゼンの二置換体の位置異性体は3個だけである。

基準の置換基を1、時計回りに2~6とした位置番号で表現することも可能である。

左から、1,2-ジメチルベンゼン、1,3-ジメチルベンゼン、1,4-ジメチルベンゼンとなる。

三置換体(2個の同じ置換基と1個の別の置換基)の位置異性体

オルト位 2種類	メタ位 3種類	パラ位 1種類
 	  	

2個の同じ置換基がオルト位かメタ位かパラ位かで分け、残りの1個の置換基の位置を考える。

また、対称性に注意し、裏返して一致するものを別物とみなさないようにする。

すると、それぞれ2種類、3種類、1種類で、合計6種類の位置異性体が存在するとわかる。

この位置異性体の数は暗記しておくべきで、その理由は2つある。

1つは、試験中に余計な思考をせずに異性体を重複なく見落としなく書き出すことができる点である。

遥かに重要な理由は、位置異性体の数から逆にベンゼン置換体の構造決定ができる点である。

「分子式C₈H₁₀のベンゼン環の1個の水素を塩素化すると2種の化合物が得られた」とあったとする。

C₈H₁₀の芳香族化合物は、キシレンとエチルベンゼンが考えられる。

一置換体エチルベンゼンを塩素化した二置換体には、3種の異性体(オルト、メタ、パラ)が存在する。

よって、エチルベンゼンではなくキシレンであることがわかる。

さらに、塩素化した三置換体の異性体が2種類であるのは、o-キシレンのみである。

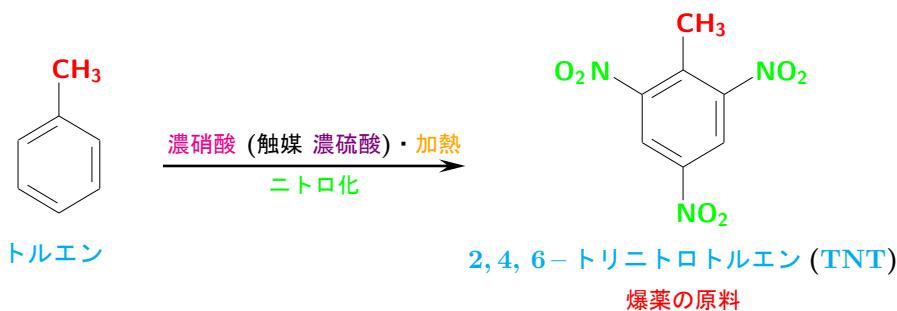
こうして、C₈H₁₀がo-キシレンであることが確定するわけである。

三置換体 (2 個の異なる置換基と 1 個のさらに別の置換基) の位置異性体

オルト位 4 種類	
メタ位 4 種類	
パラ位 2 種類	

2 個の異なる置換基がオルト位かメタ位かパラ位かで分け、残りの 1 個の置換基の位置を考える。
 上の例では、CH₃ 基と OH 基の位置関係で分け、Cl の位置で異性体の数を数えた。
 結局、それぞれ 4 種類、4 種類、2 種類で、計 10 種類の異性体が存在するとわかる。
 この三置換体の位置異性体の数も暗記しておくべきである。

トルエンのニトロ化 (オルト-パラ配向性)



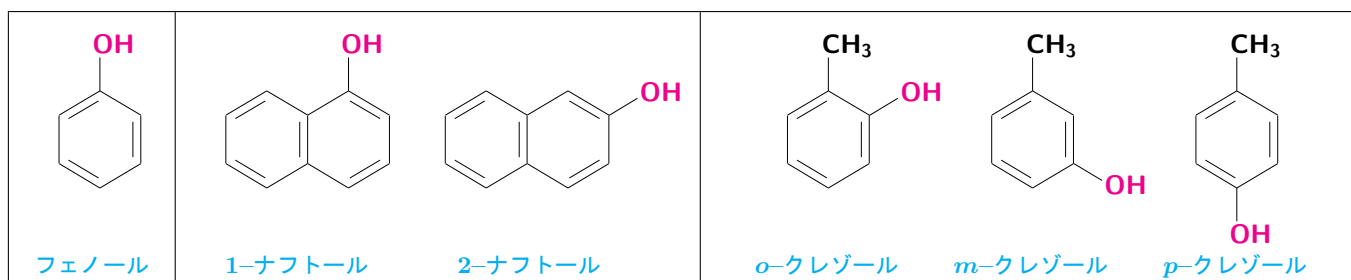
メチル基 -CH₃ が存在するとき、オルト位とパラ位が容易にニトロ化される。

1 個目の置換基が入ることで、ベンゼンの電子密度に変化が生じる。
 その影響で、2 個目の置換基が付きやすい位置と付きにくい位置ができる (覚えなくてよい)。
 1 個目の置換基が OH, NH₂, Cl, CH₃ などである場合、オルト位、パラ位が置換しやすくなる。
 このような置換基をオルト-パラ配向性であるという。
 これらはアルキル基や非共有電子対をもつ置換基である。
 1 個目の置換基が NO₂, COOH, SO₃H などである場合、メタ位が置換しやすくなる。
 このような置換基をメタ配向性であるという。
 いずれも非共有電子対をもたない置換基である。

3 フェノール類

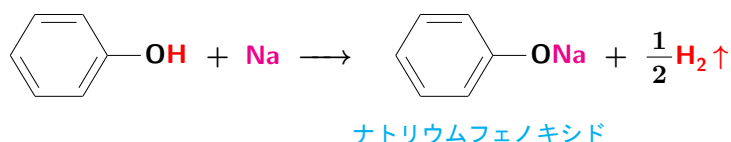
構造 **ベンゼン環に OH 基が直接結合**した構造.

代表的なフェノール類

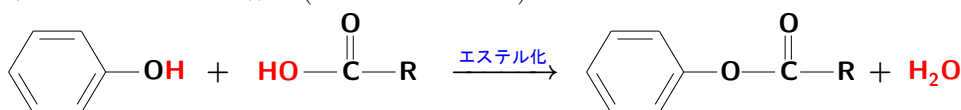


フェノール類の性質と反応

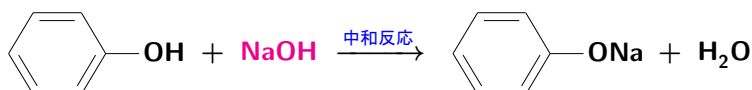
- ① 水溶液中でわずかに電離し、**弱い酸性**を示す.
- ② **分子間で水素結合**するため、融点・沸点が高めで、多くは**常温で結晶**である.
- ③ **検出 塩化鉄 (III) FeCl₃ 水溶液**を加えると、**青～紫色に呈色**する.
- ④ **Na**を加えると、**水素が発生**する (アルコールと共通).



- ⑤ **カルボン酸**と反応して**エステル**を作る (アルコールと共通).



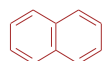
- ⑥ **塩基**と**中和反応**し、**塩**となって**水に溶ける** (酸としての性質).



- ⑦ **フェノール類の塩**の水溶液に**二酸化炭素**を吹き込む (**炭酸 H₂CO₃**を加える).
すると、炭酸より弱い酸である**フェノールが遊離**する (酸としての性質).



OH 基がベンゼン環に直結していないものはフェノール類ではない.



(C₁₀H₈) を **ナフタレン** という. **昇華しやすい無色結晶**で、**防虫剤や染料**の原料となる.

また、ベンゼンと同様に 18 個全ての原子が **同一平面上**にある.

ナフタレンの **一置換体**には **2 種類の位置異性体**が考えられる.

位置番号は、右のベンゼン環の一番上から時計回りに 1~8 となる.

ベンゼン環を共有する中央の 2 個の C は H をもたないから置換基は結合できず、位置番号もない.

フェノール類の反応は、アルコールと共通するものと酸としての性質によるものに分けられる.

有機化合物の多くは水に難溶であるが、**塩**になると**すべて水に溶ける**.

特に重要なのは、⑦の弱酸の遊離反応である. 酸の強さは、**塩酸・硫酸 > カルボン酸 > 炭酸 > フェノール**である.

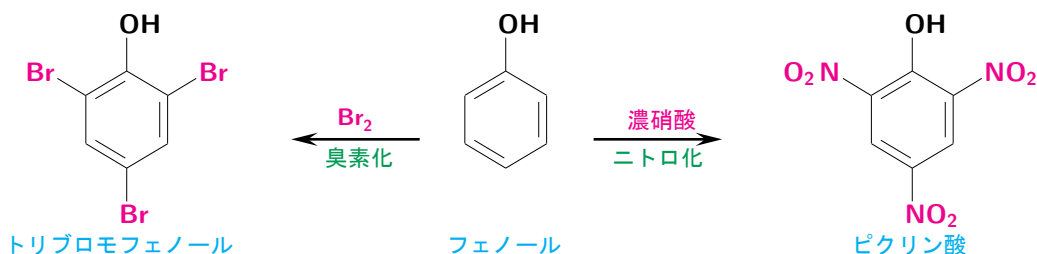
よって、フェノール類の塩により強い酸を加えると、弱酸の遊離反応によりフェノールが遊離する.

4 フェノール C_6H_5-OH

- 性質 ① 白色固体で、水にごくわずか溶けて弱い酸性を示す。
② 有毒で皮膚を侵す。 ③ 消毒・殺菌作用があり、医薬品、染料などの原料として用いられる。

臭素化とニトロ化

- ① 臭素水と反応してトリブロモフェノール (白色沈殿) が生じる。
② 濃硝酸 (触媒 濃硫酸) を加えて加熱すると、ニトロ化してピクリン酸が生じる。

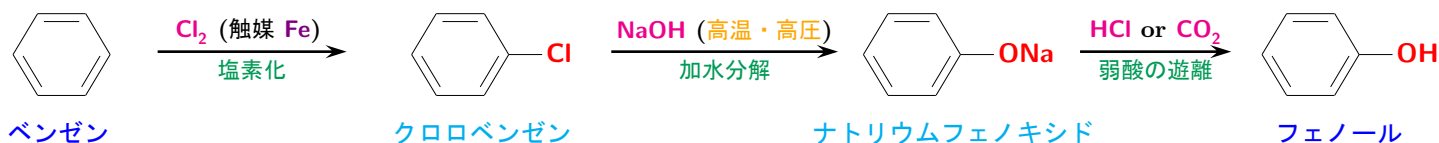


[OH 基は、オルト・パラ配向性 である。]

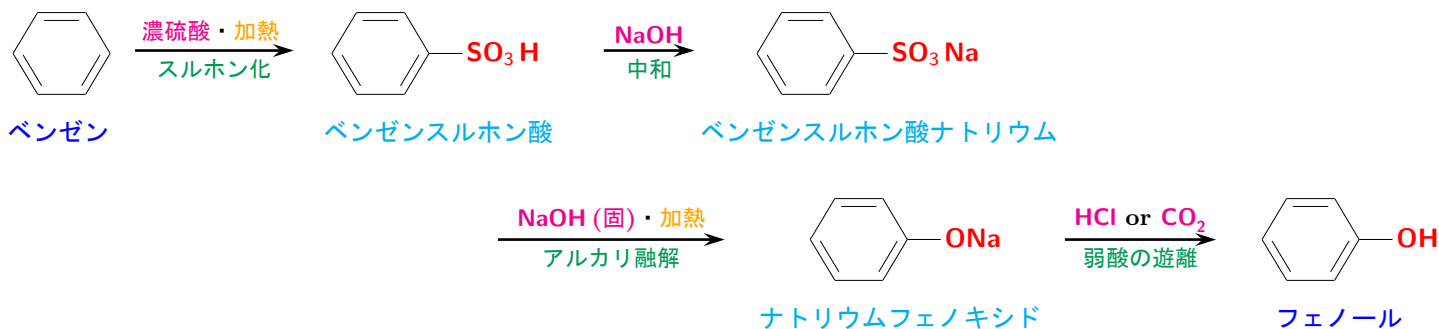
[ピクリン酸 (トリニトロフェノール) はフェノール類であるが、強酸 である。また、塩化鉄 $FeCl_3$ 水溶液で呈色しない。黄色結晶で、爆発性がある。]

フェノールの 4 大製法

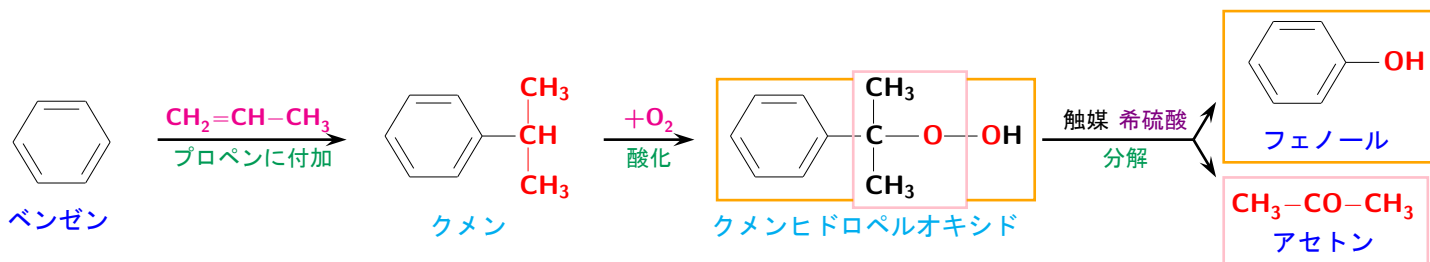
- [1] クロロベンゼンの加水分解 (ナトリウムフェノキシドを経由)



- [2] ベンゼンスルホン酸ナトリウムのアルカリ融解 (ナトリウムフェノキシドを経由)



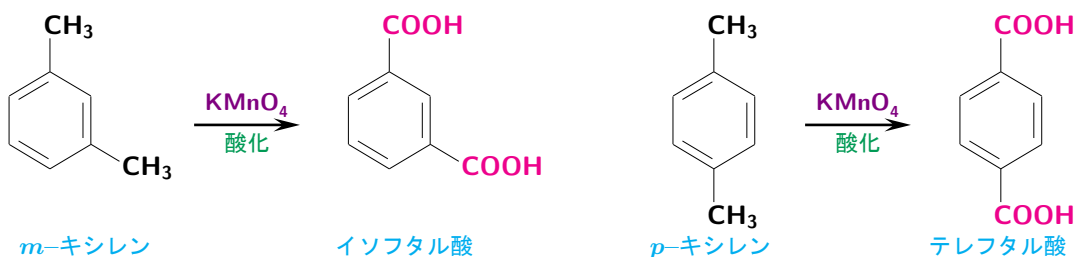
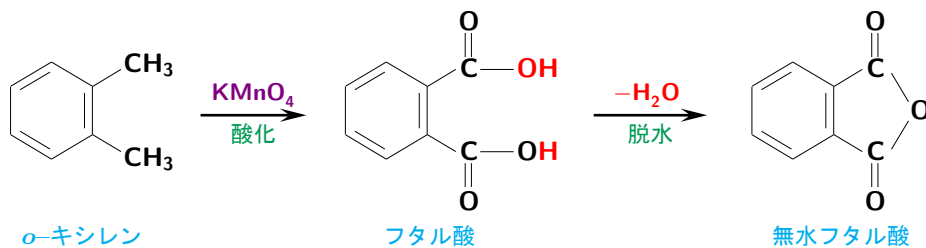
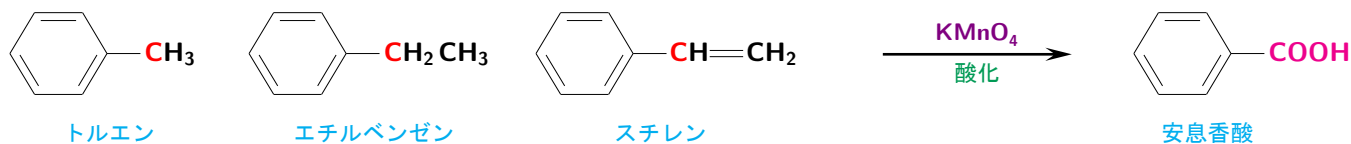
- [3] クメン法 (工業的) (アセトンの製法)



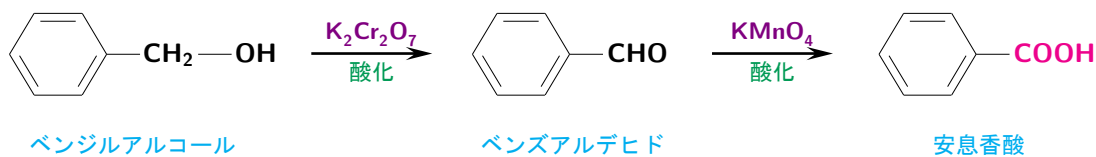
- [4] 塩化ベンゼンジアゾニウムの加水分解 (詳細はアニリンの誘導体)

5 芳香族カルボン酸

芳香族炭化水素の側鎖の酸化 ベンゼン環に直接結合している C 原子が酸化 され、 $-\text{COOH}$ となる。



芳香族アルコールの酸化

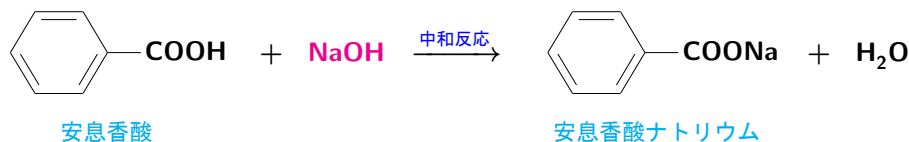


[フタル酸・イソフタル酸・テレフタル酸の分子式 $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4$ は覚えておきたい。8, 6, 4 と 2 ずつ減っているのが覚えやすいだろう。
 また、 $\text{C}_8\text{H}_6\text{O}_4 \rightarrow \text{C}_8\text{H}_4\text{O}_3$ とあれば、フタル酸 \rightarrow 無水フタル酸である。]

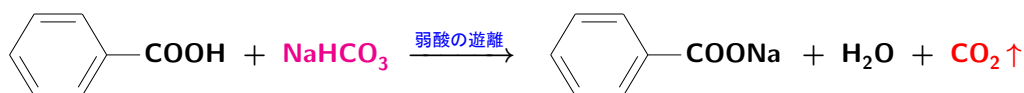
芳香族カルボン酸 (ベンゼン環にカルボキシ基 $-\text{COOH}$ が結合した化合物)

性質 常温で固体。冷水に溶けにくい、温水に溶けて弱酸性を示す。

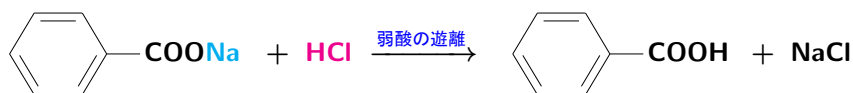
反応 ① 塩基と中和反応し、塩となって水によく溶ける (酸としての性質)。



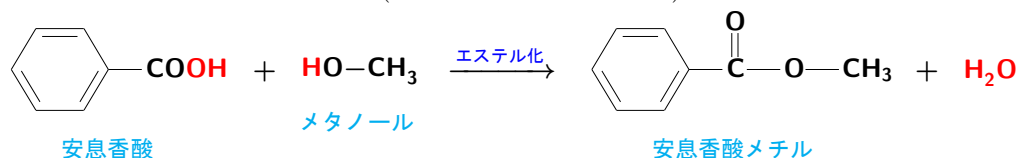
② 炭酸水素塩や炭酸塩を加えると、二酸化炭素が発生する。カルボン酸は塩となって溶ける (酸としての性質)。



③ カルボン酸の塩の水溶液に塩酸を加えると、塩酸より弱い酸であるカルボン酸が遊離する (酸としての性質)。

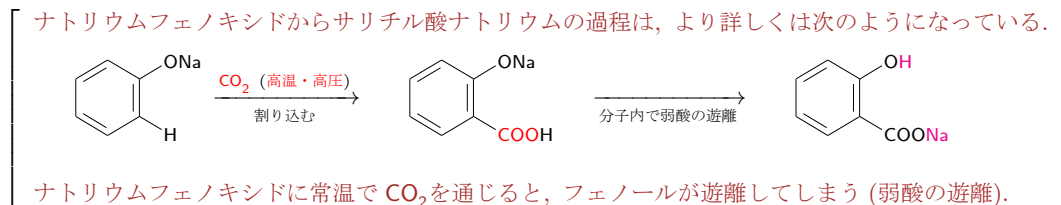
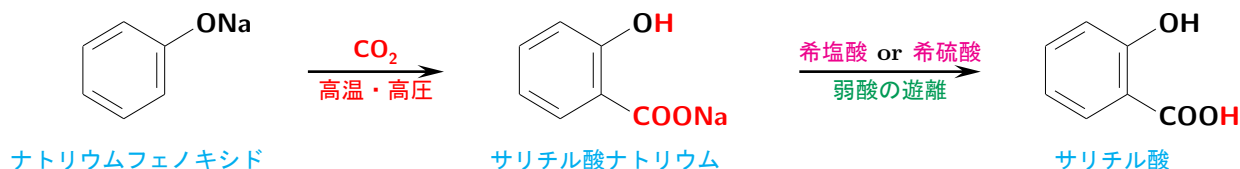


④ アルコールと反応してエステルを作る (カルボン酸としての性質)。



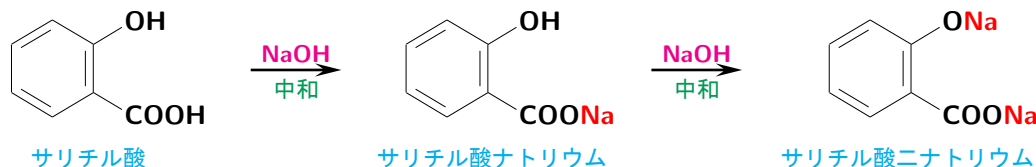
6 サリチル酸 $C_6H_4(OH)COOH$ ($C_7H_6O_3$)

製法 ナトリウムフェノキシドに **高温・高圧** 下で CO_2 を反応させる。さらに、**強酸** を作用させると **サリチル酸** が遊離する。



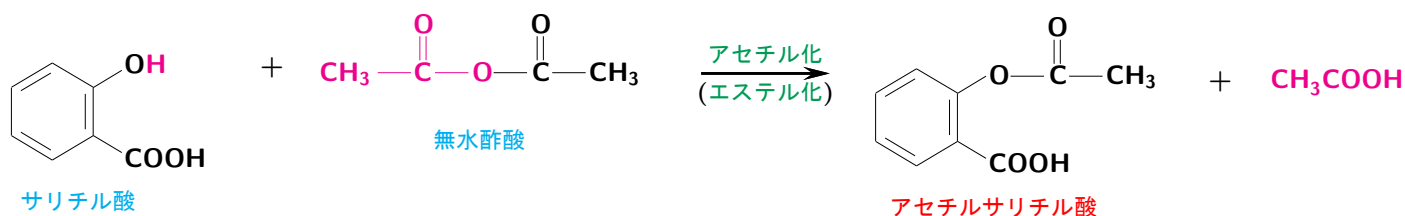
塩基との中和反応

酸性の強い **カルボキシ基** が先に中和し、その後 **ヒドロキシ基** も中和される。



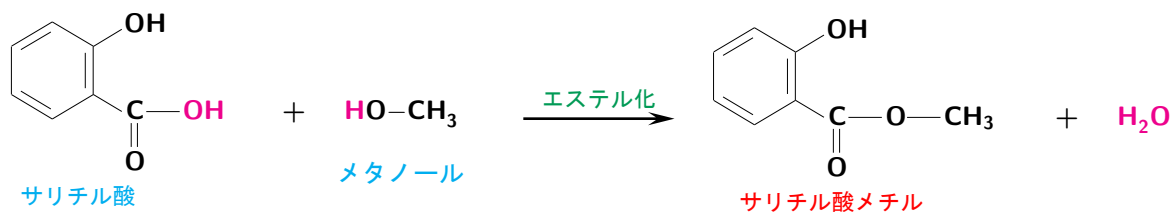
フェノール類としての性質

- ① **塩化鉄 (III)** 水溶液で **赤紫色** に呈色する。
- ② **無水酢酸** を用いて **アセチル化** すると、**アセチルサリチル酸 (アスピリン)** が生じる。
アセチルサリチル酸は、**解熱鎮痛剤** として利用される。



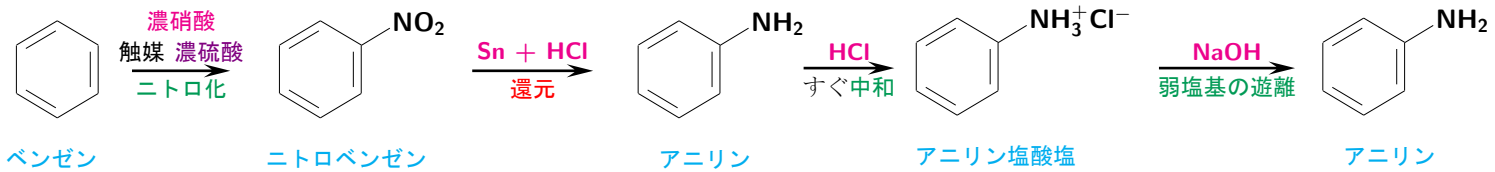
カルボン酸としての性質

メタノール と **エステル化** して、**サリチル酸メチル** が生じる。サリチル酸メチルは、**消炎鎮痛剤 (湿布薬)** として利用される。



7 アニリン C₆H₅-NH₂

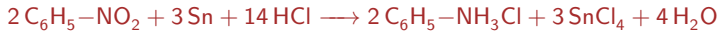
製法 スズと塩酸でニトロベンゼンを還元する。すぐに中和してアニリン塩酸塩になるため、強塩基でアニリンを遊離させる。



この2式からe⁻を消去し、両辺に12Cl⁻を加えると、ニトロベンゼン → アニリンの式が得られる。



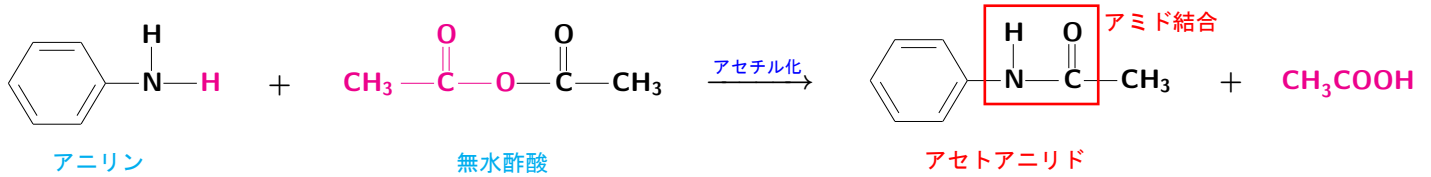
しかし、実際には過剰の塩酸を加えるため、アニリン塩酸塩となる。さらに両辺に2HClを加えると、ニトロベンゼン → アニリン塩酸塩の式となる。



- 性質 ① 無色の油状液体。水には溶けにくい、有機溶媒にはよく溶ける。
 ② 弱塩基性を示し、酸には塩となり溶ける。

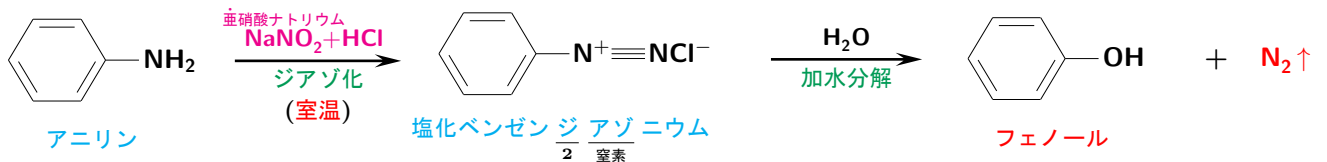
- アニリンの酸化 ① 空気中の酸素で徐々に酸化され、赤褐色に変化する (褐色瓶中に保存)。
 ② さらし粉水溶液で酸化すると、赤紫色に呈色する (アニリンの検出反応)。
 ③ ニクロム酸カリウム水溶液で加熱酸化すると、黒色沈殿(アニリンブラック)が生じる。

アセチル化 アニリンに無水酢酸を作用させると、アミド結合をもつアセトアニリドが生成する。

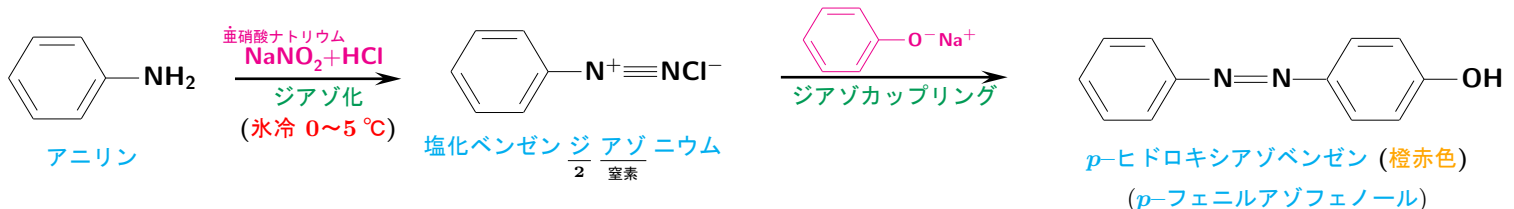


ジアゾ化 アニリンに塩酸と亜硝酸ナトリウム水溶液を0~5℃の氷冷下で加える。すると、塩化ベンゼンジアゾニウムが生成する。

氷冷しない場合、窒素を脱離してフェノールに分解される (フェノールの第4の製法)



ジアゾカップリング 冷却した塩化ベンゼンジアゾニウム水溶液にナトリウムフェノキシド水溶液を加える。すると、アゾ基 -N=N- をもつアゾ化合物 p-ヒドロキシアゾベンゼンが生成する。アゾ化合物は一般に黄色~赤色に着色しており、染料として利用される。

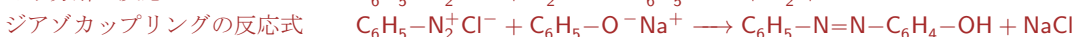
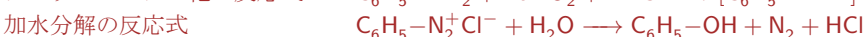


アンモニア NH₃ の H 原子を炭化水素基で置き換えた構造の化合物をアミンという。

ベンゼン環の H が -N⁺≡N で置き換わり、さらに酸と塩をつかったものをジアゾニウム塩といい、ジアゾニウム塩を作る反応をジアゾ化という。ジアゾニウム塩は、R-N⁺≡NCl⁻ や [R-N≡N]⁺Cl⁻ や R-N₂⁺Cl⁻ と表記する。

ジアゾニウム塩がフェノール類や芳香族アミンと反応すると、アゾ化合物を生じる。この反応をジアゾカップリングという。

注意! N の原子価 (手の数) は3だが、N⁺の原子価は4 (NH₄⁺と同様) なので、ジアゾニウム塩のN間は三重結合、アゾ化合物のN間は二重結合。



をフェニル基という。

8 有機化合物の系統分離

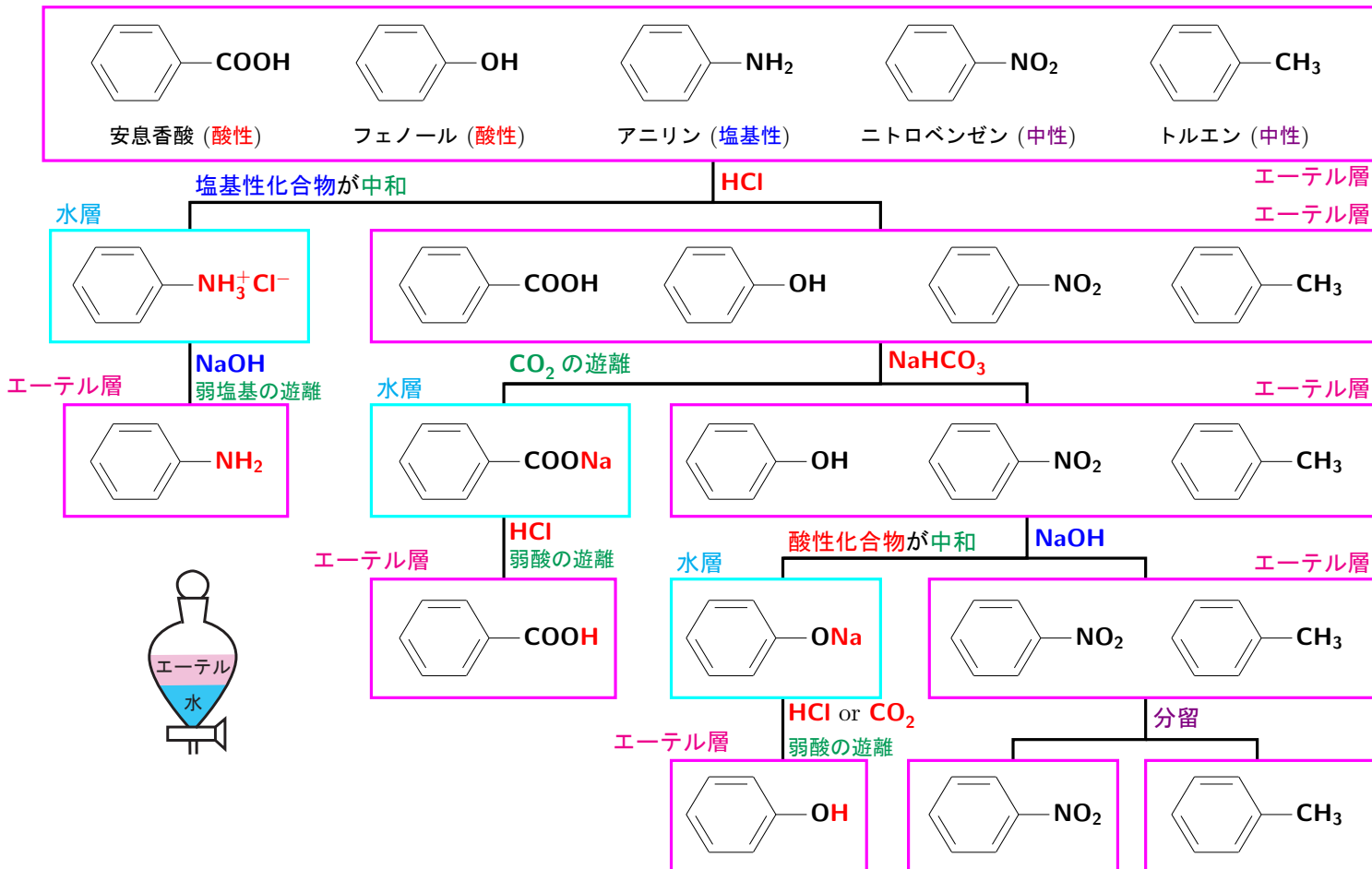
抽出 溶媒に対する溶解度の差を利用して、混合物を分離する操作.

原理① 中和反応を利用し、酸性化合物・塩基性化合物・中性化合物の3つに分離する.

有機化合物は水に溶けにくい、中和して塩になると水に溶け、水層に移動する. 中性化合物は最後までエーテル層に残る.

原理② カルボン酸とフェノール類を、その間の強さの酸である炭酸を利用して分離する.

酸の強さは 塩酸, 硫酸 >> カルボン酸 > 炭酸 > フェノール



分離の手順は1つではなく、上に示した手順はあくまでも一例である. どんな手順を取るにせよ、2つの原理を用いて分離することには変わらない.

最初に酸 HCl を加えると、塩基性化合物のみが中和して塩となる.

つまり、アニリンがアニリン塩酸塩となり、水層に移動する. $\text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_2 + \text{HCl} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-NH}_3^+\text{Cl}^-$

さらに強塩基 NaOH を加えると、再びアニリンとなりエーテル層に戻る (弱塩基の遊離).



HCl を加えてエーテル層に残ったものに、NaHCO₃ (炭酸塩) を加える.

すると、より強い酸であるカルボン酸と反応し、より弱い酸である CO₂ が遊離する (弱酸の遊離).

同時に、カルボン酸の塩である安息香酸ナトリウムが生成し、水層に移動する.



さらに強酸 HCl を加えると、再びカルボン酸となりエーテル層に戻る (弱酸の遊離). $\text{C}_6\text{H}_5\text{-COONa} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{C}_6\text{H}_5\text{-COOH}$

なお、炭酸塩だからといって Na₂CO₃ を加えたとしても、次のような理由で分離できない.

炭酸は二段階で電離し、その強さは H₂CO₃ (第1電離) > フェノール > HCO₃⁻ (第2電離) である.

よって、炭酸塩 Na₂CO₃ はフェノールとも反応してしまい、より弱い酸 HCO₃⁻ を遊離する. $\text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{C}_6\text{H}_5\text{-OH} \rightarrow \text{C}_6\text{H}_5\text{-ONa} + \text{NaHCO}_3$

残りの混合物に、塩基 NaOH を加えると、酸性化合物のフェノールのみが塩となって水層に移動する.

さらにフェノールより強い酸を加えると、再びフェノールとなりエーテル層に戻る (弱酸の遊離). $\text{C}_6\text{H}_5\text{-ONa} + \text{HCl} \rightarrow \text{NaCl} + \text{C}_6\text{H}_5\text{-OH}$

エーテル層に残る中性化合物は **沸点の違い**を利用して分離 (分留). ニトロベンゼン (C₆H₅-NO₂) は沸点 211 °C, トルエン (C₆H₅-CH₃) は 110 °C.

HCl によるアニリンの分離後、NaHCO₃ ではなく NaOH を加える手順では、カルボン酸とフェノールの両方が中和して塩となり、水層に移動する. つまり、カルボン酸の塩 C₆H₅-COONa とフェノールの塩 C₆H₅-ONa が水層に共存する.

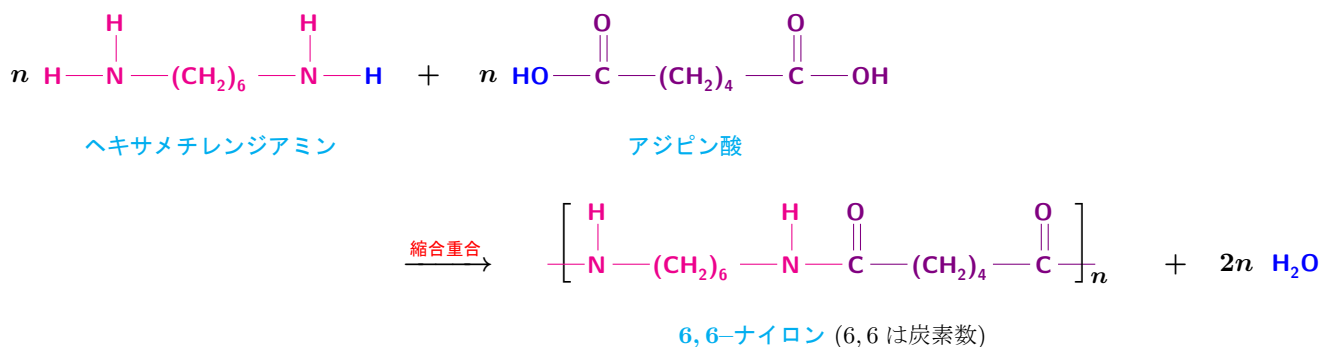
酸 CO₂ を加えるとより弱い酸のフェノールのみが遊離し、エーテル層に戻る (弱酸の遊離). $\text{C}_6\text{H}_5\text{-ONa} + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{NaHCO}_3 + \text{C}_6\text{H}_5\text{-OH}$

2種類の酸 (カルボン酸とフェノール) を分離するために、間の強さの炭酸の塩 NaHCO₃ を加えるのが先の手順である.

2種類の酸 (カルボン酸とフェノール) に由来する塩を分離するために、間の強さの酸 CO₂ を加えるのがこの手順である.

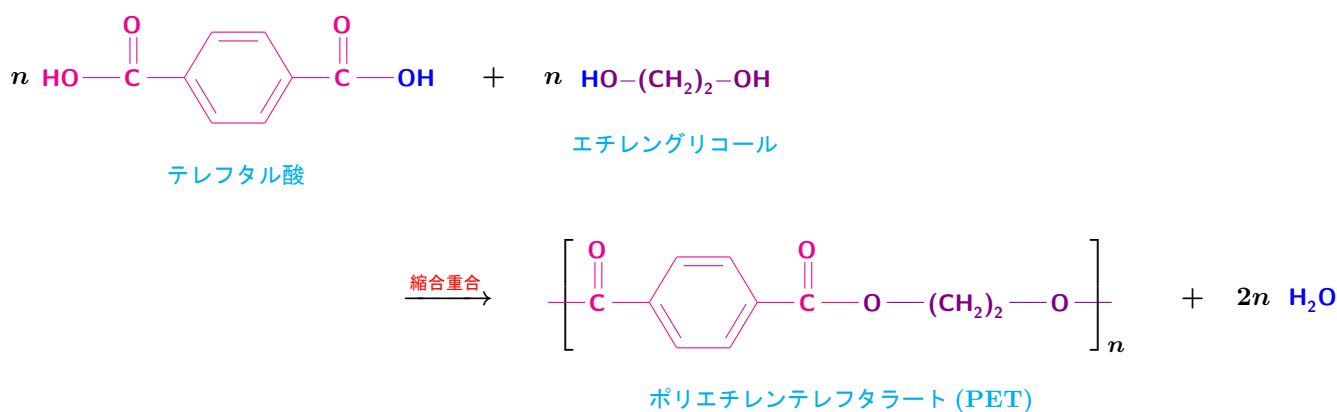
9 6,6-ナイロンとポリエチレンテレフタレート

6,6-ナイロン アミド結合の繰り返しによる**ポリアミド**.



ポリエチレンテレフタレート (PET)

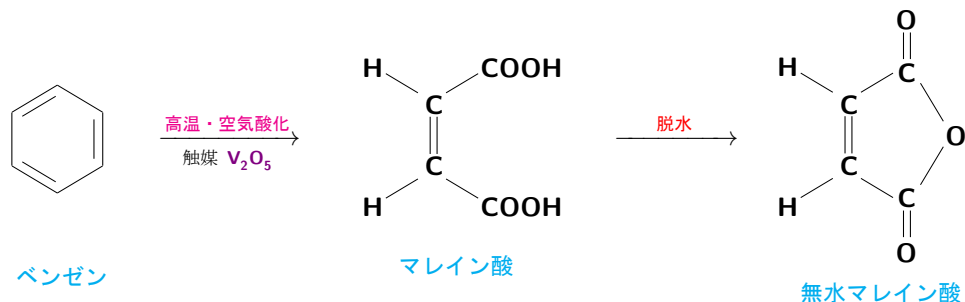
エステル結合の繰り返しによる**ポリエステル**. ペットボトル.



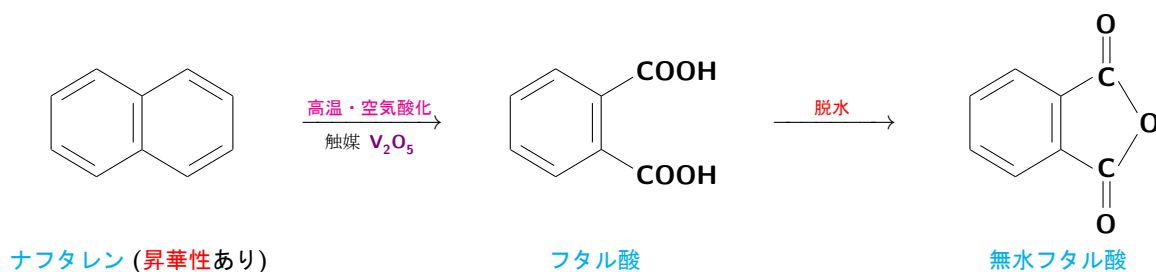
縮合重合 単量体から簡単な分子が失われて結合することを繰り返し、高分子が生成する。
6個(ヘキサ)のメチレン基-CH₂-と2個(ジ)のアミノ基-NH₂(アミン).

10 ベンゼン環の酸化開裂

[1] **ベンゼン**を酸化バナジウム(V)(V₂O₅)を触媒として**高温で空気酸化**すると、最終的に**無水マレイン酸**が生成する。

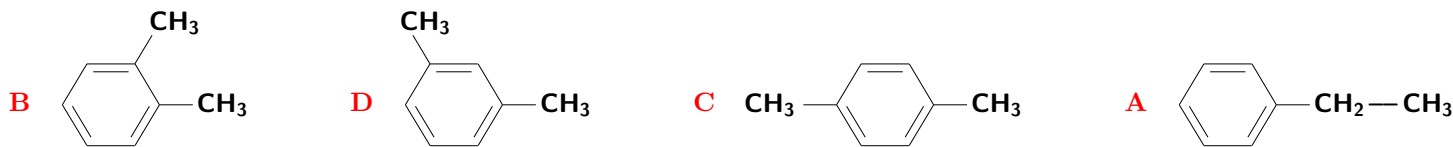


[2] **ナフタレン**を酸化バナジウム(V)(V₂O₅)を触媒として**高温で空気酸化**すると、最終的に**無水フタル酸**が生成する。



11 芳香族化合物の構造決定

分子式 C_8H_{10} で表される芳香族炭化水素 A, B, C, D がある。それぞれを過マンガン酸カリウムのアルカリ水溶液で酸化すると、それぞれ E, F, G, H となった。E は F, G, H に比べて炭素数が 1 つ少なかった。F は熱すると容易に脱水された。G はペットボトルの原料であった。A, B, C, D の構造式を示せ。



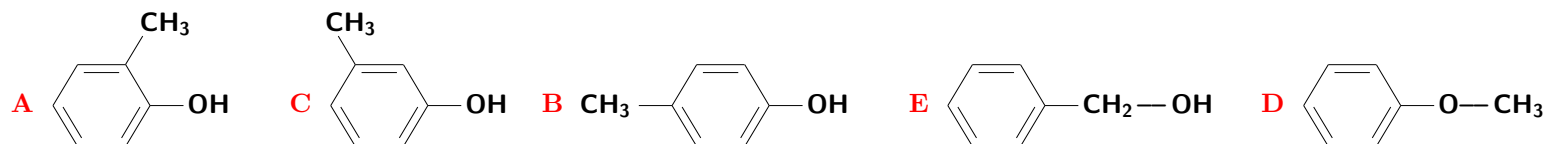
不飽和度を確認する。8 個の C に対する H の最大数は $2 \times 8 + 2 = 18$ 。実際は H が 10 個で最大数より 8 個少ないから、不飽和度は $8 \div 2 = 4$ 。問題に「芳香族」とあるから、A~D は **ベンゼン環 (不飽和度 4)** を有する。よって、ベンゼン環以外は無飽和度 0 で、二重結合や環をもたない。後は H を無視し、ベンゼン環以外の 2 個の C を置換基としてつける。1 個ずつつけるときは **3 種類の位置異性体** がある。4 種類全て書き出す。よって、A~D はこの 4 種類の化合物のどれかである。後は条件から 1 つずつ特定していけばよい。

ベンゼン環に直結した炭化水素基は、C の数によらず酸化で **COOH 基** となる。4 種類全てについて酸化後の化合物を書き出す。次が E~H である。



4 つの内、右の **安息香酸** だけが他に比べて炭素数が 1 個少ないから、E は安息香酸であり、酸化して安息香酸となる **エチルベンゼン** が A である。加熱脱水されて **無水フタル酸** となるのは **オルト位のフタル酸** より、F はフタル酸 (オルト位) で、酸化してフタル酸となる **o-キシレン** が B。PET ボトル (ポリエチレンテレフタレート) の原料は **テレフタル酸 (パラ位)**。D はテレフタル酸で、酸化してテレフタル酸となる **p-キシレン** が C。残った **イソフタル酸 (メタ位)** が自動的に H と決まり、すなわち **m-キシレン** が D となる。

分子式 C_7H_8O で表される芳香族化合物 A~E がある。A, B, C は水酸化ナトリウム水溶液を加えると溶けたが、D, E は溶けなかった。A を過マンガン酸カリウムのアルカリ水溶液で酸化すると、アセチル化したときに解熱鎮痛作用がある物質が生じた。2 個の置換基をもつ B のベンゼン環の水素原子 1 個をさらに塩素原子で置換すると、2 種類の異性体が生じた。A~E の中で沸点が最も低いのは D であった。A~E の構造式を示せ。



不飽和度を確認する。O は無視してよい。7 個の C に対する H の最大数は $2 \times 7 + 2 = 16$ だが、実際はこれよりも 8 個少なく、不飽和度は 4。ベンゼン環の不飽和度が 4 なので、それ以外に二重結合や環はない。結局、ベンゼン環に 1 個の C と 1 個の O を置換基としてつけることになる。

1 個の C と 1 個の O を別の置換基としてつけるとき、**3 種類の位置異性体** がある。OH 基がベンゼン環に直結するから、**フェノール類** である。1 個の C と 1 個の O を 1 つの置換基としてつけるとき、2 通りの置換基がありえる。-C-O とすると **アルコール**、-O-C とすると **エーテル**。以上の **5 種類の異性体** を最初にすべて書き出し、与えられた条件から 1 つずつ特定していく。

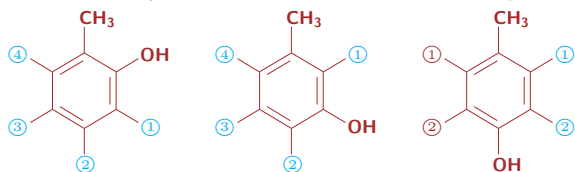
左からクレゾール (o, m, p)、ベンジルアルコール、アニソール (メチルフェニルエーテル) である。

「NaOH (塩基) に溶解」 → 「酸性化合物」 → 「A, B, C は **フェノール類** (左 3 つのどれか)」

解熱鎮痛作用があるのは **アセチルサリチル酸** (アスピリン)。アセチル化されてアセチルサリチル酸となるのは **サリチル酸** であり、これは **オルト位**。「酸化してサリチル酸 (オルト位)」 → 「A はオルト位の **o-クレゾール**」

CH₃ 基, OH 基に加えて、さらに Cl 基をつけるときの異性体の数を A, B, C について考える。オルト位が確定済みの A についても確認した。左と真ん中のように、CH₃ 基と OH 基が **オルト位とメタ位** のとき、Cl 基のつけ方は **4 通り** ある。

パラ位の場合のみ, Cl 基のつけ方は **2 通り** しかなく、これが B である。残ったメタ位の **m-クレゾール** が C である。



「沸点が最も低い」 → 「分子間で水素結合しない」 → 「OH 基をもたない」 → 「D は **エーテル**」 残ったベンジルアルコールが自動的に E となる。