

有機反応化学

第12回

2018年7月6日

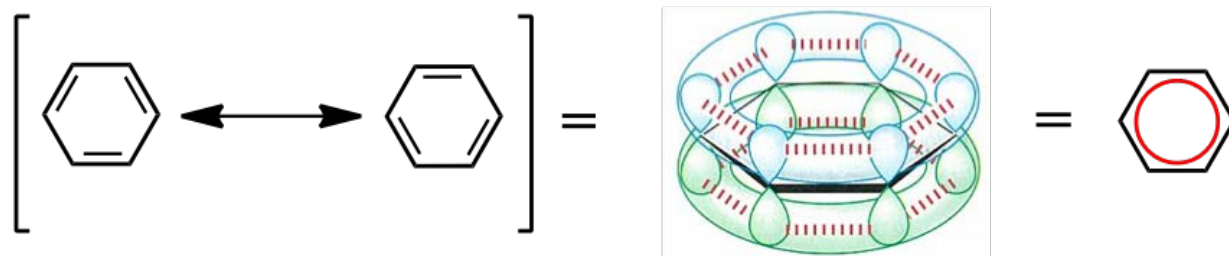
芳香族化合物 2 ・ カルボニル化合物

大学院理学系研究科化学専攻

後藤 佑樹



前は…ベンゼンは超安定



ベンゼン以外にも芳香族化合物はある

1. 環状構造である。
2. 完全共役 (fully conjugated) している。
3. 平面構造をとる。
4. 一つの環状に $(4n+2)$ 個の π 電子 を含む (Hückel則)。
(n は0以上の整数)

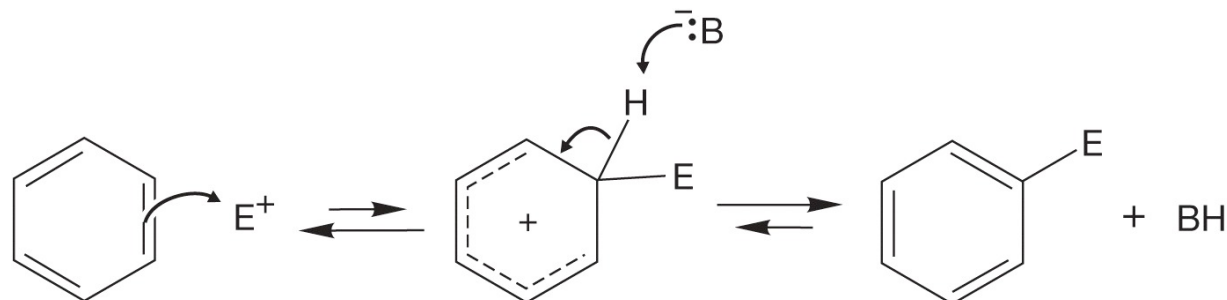


芳香族求電子置換反応のまとめ

ベンゼンは高い安定化を受けている

なので、ほとんどの付加反応試薬と反応しない。

ただし、強力な求電子剤が存在すれば、ベンゼンは求核剤として働く
その後は、水素（もしくは他の官能基）が脱離し、芳香族性が復活する



1. 芳香族性は簡単には失えない (非常に反応性が高い試薬が必要)

もし強力な反応剤で芳香族性が失われたとしても...

2. 芳香族性が復活するように次の反応が起こる

質問/コメント集 ～芳香族化合物～

- ・ スライド18 「不対電子」は「非共有電子対」の間違いだと思うのですが...

★★ **ベンゼン以外にも芳香族化合物はある**

芳香族になるための必要条件4つ

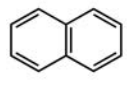
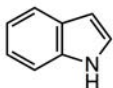
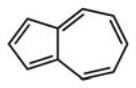
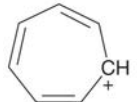
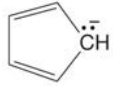
1. 環状構造である。
2. 完全共役 (fully conjugated) している。
3. 平面構造をとる。
4. 一つの環状に $(4n+2)$ 個の π 電子を含む (Hückel 則)。 n は原子の数とはまったく関係がないよ。
(n は0以上の整数) つまり環の原子は全て sp^2 混成もしくは sp 混成である必要がある

「 π 電子」の (不正確だが) 分かりやすい解釈

- ・ 二重結合の二つの結合に関与するのは π 電子
- ・ また、 sp^2 混成をしてできた余りの p 軌道に入る **不対電子** も π 電子としてカウントできる

芳香族化合物の一例

非共有電子 (対)

					
ピリジン (6π)	ピロール (6π)	フラン (6π)	ナフタレン (10π)	インドール (10π)	アズレン (10π)
					
(Z,Z,Z,Z,Z)-Cyclodecapentaene					
					
トロピリニウムイオン					
					
シクロペンタジエニル アニオン					

これらは、特別な安定化を受ける

復習ポイント！
 π 電子
 sp^2 混成軌道
 $2p$ 軌道
共役

ありがとう。
間違っていましたね。

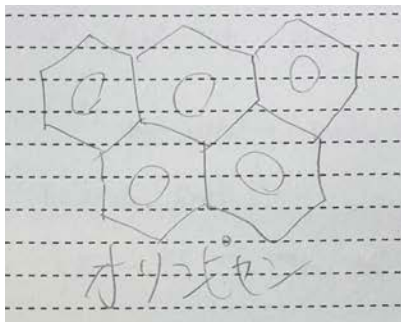
- ・ π 電子の数え方がいまいちすっきりしていないんですけど、
(二重結合の数) $\times 2 +$ (非共有電子の数) であってます？

質問/コメント集 ～芳香族化合物～

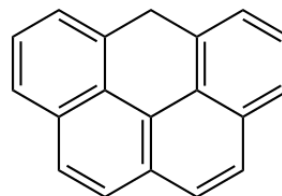
- ・高校のとき大学でベンゼンは  こう書くと言われました。電子の移動を議論できないので、反応機構を描くには向かない。こう書かないんですか？

あと、これで書いていると、sp³原子を見落としやすい

e.g.

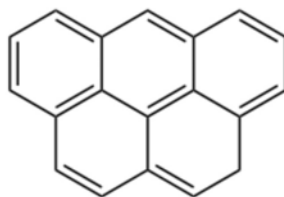


ちなみに、書くなら、こう



とか

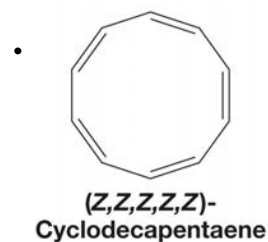
こう



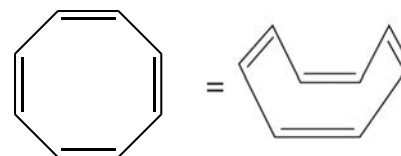
(5個の環のどれか1個は芳香環ではない)ですよ。(二つの化合物は異性体)

- ・バターの例が気に入っています 良い例えでしょ。僕のオリジナルです。
- ・ちびくろさんぼ なつかしかった。また読みたい。
ちなみに、ちびくろさんぼはいたずらしたのではなく、
トラに衣服をはぎとられていき、最後トラ同士で誰が奪ったものがかっこいいかで
けんかになって自爆したはずですよ。 すっかり忘れてました。ありがとう！

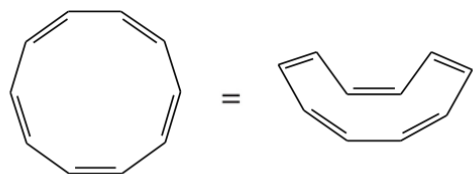
質問/コメント集 ～芳香族化合物～



コレが平面を作れて、

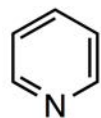


コレが平面にならないのは、
4n+2が関係するのか...?

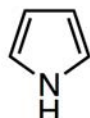


ごめんなさい、間違いでした

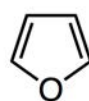
芳香族化合物の一例



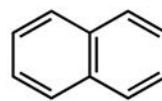
ピリジン
(6 π)



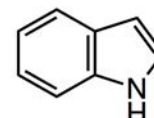
ピロール
(6 π)



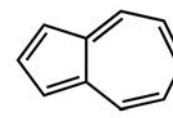
フラン
(6 π)



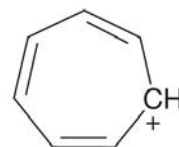
ナフタレン
(10 π)



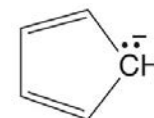
インドール
(10 π)



アズレン
(10 π)



トロピリニウムイオン



シクロペンタジエニル
アニオン

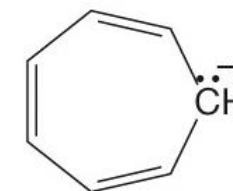
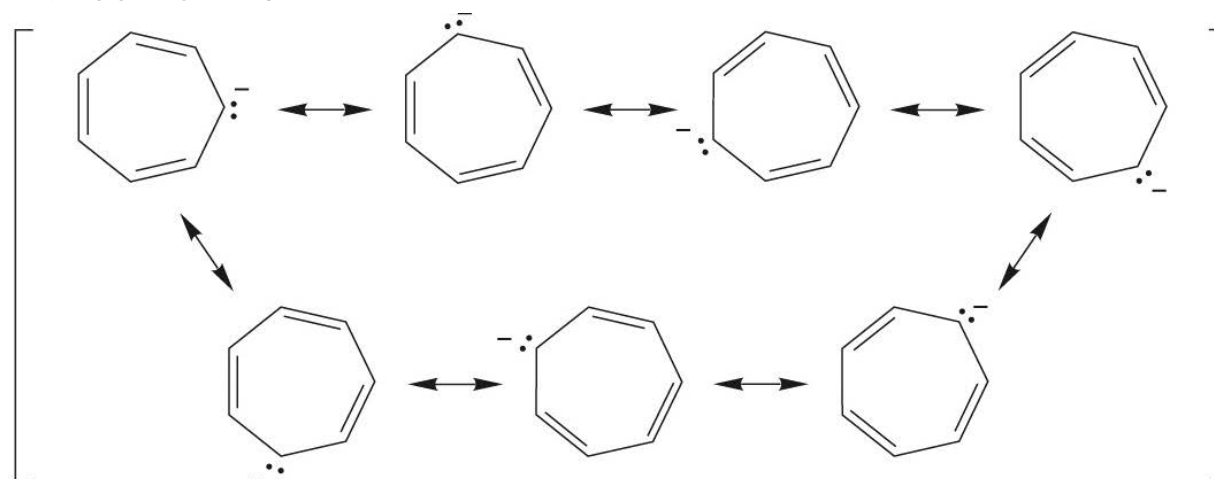
これらは、特別な安定化を受ける

スライド18

質問/コメント集 ～芳香族化合物～

- ・ スライド23のシクロヘプタトリエニルアニオンはなぜ不安定なのですか？
理解が追いつきませんでした。共役しているように見えるけど....。

反芳香族化合物の一例



Cycloheptatrienyl
anion

環状・完全共役・平面

8 π

これらは、特別な不安定化を受ける

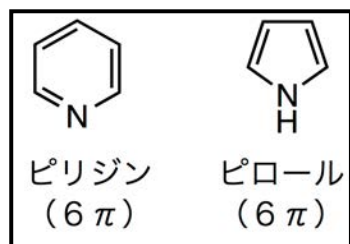
そのとおり、共役してます。が、電子の数が $4n$ なので、まずいバターです。

- ・ スライド23の $\leftrightarrow$ で繋がれている7つの反芳香族化合物ですが、
回転すれば全て同じもののなのに、なぜそれぞれ1つずつ分かれているのですか？

質問/コメント集 ～芳香族化合物～

- ・ピロールのNはsp²ですよ（そうじゃないとπ電子が6個にならないと思うので）。でもピリジンのNはsp³ですよ。何が異なるのでしょうか。

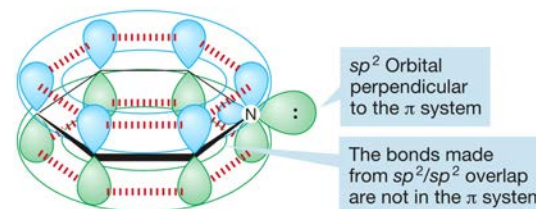
スライド18



ピリジンやフランなどの「ヘテロ芳香族」は、「電子が何方向に伸びてかでsp^xを見分ける方法」の例外になっちゃいます。

ピリジンの窒素原子はsp²混成です。
で、非共有電子対はsp²混成軌道の一つに収容されてます。
この非共有電子対を含むsp²混成軌道はπ結合に垂直に存在するので、芳香族の判定のπ電子の数には含めない（6πで芳香族）

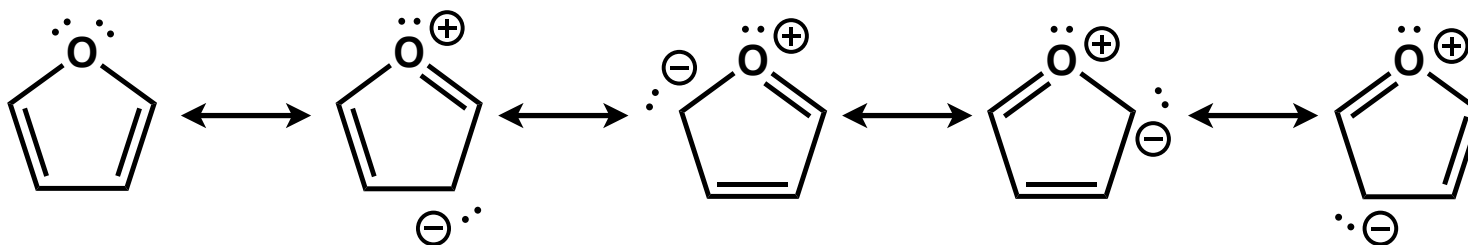
ちなみにピロールの窒素原子では非共有電子対はp軌道に収容。
なので芳香族の判定のπ電子の数には含める（6πで芳香族）



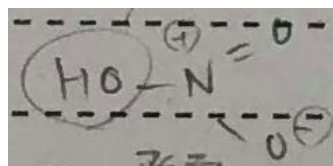
- ・ の共鳴構造式はどうなりますか？

フラン (6 π)

ちなみにフランの酸素原子の二つの非共有電子対は、それぞれsp²混成軌道とp軌道に収容。
p軌道の方は芳香族の判定のπ電子の数には含める（6πで芳香族）



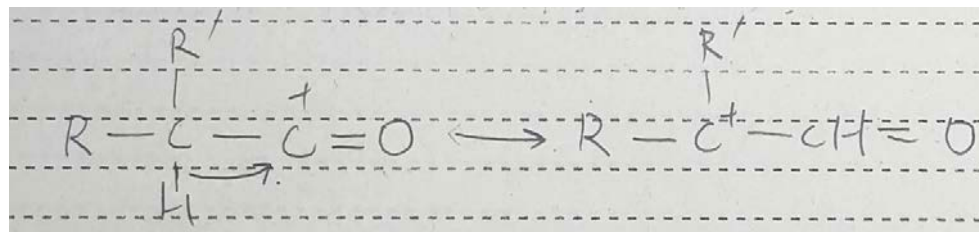
質問/コメント集 ～芳香族求電子置換反応～



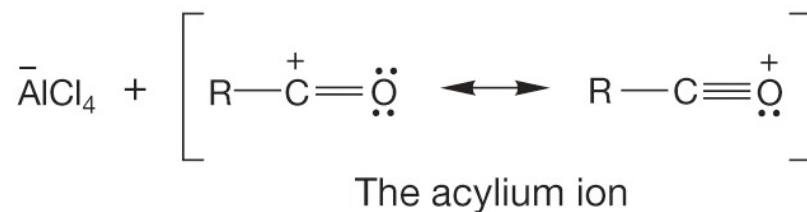
- ・ニトロ化の例。この部分を H_2O^+ に強い酸として濃硫酸を使うとのことでしたが、強酸ならば希硫酸を使った方がいいんじゃないのかなと思いましたか、どうでしょう？

水が抜けるので系中に水は少ない方が良い

- ・下のようにアシリウムイオンが転位を起こさないのはなぜですか？

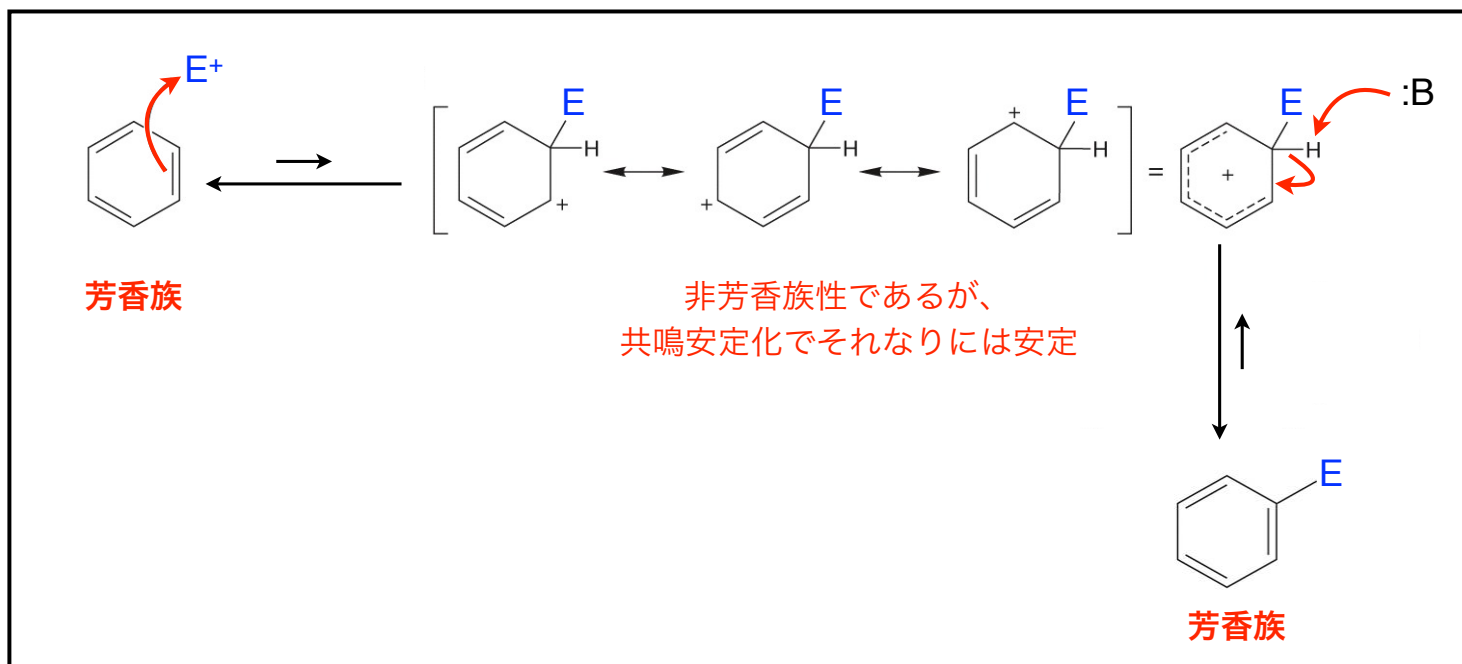
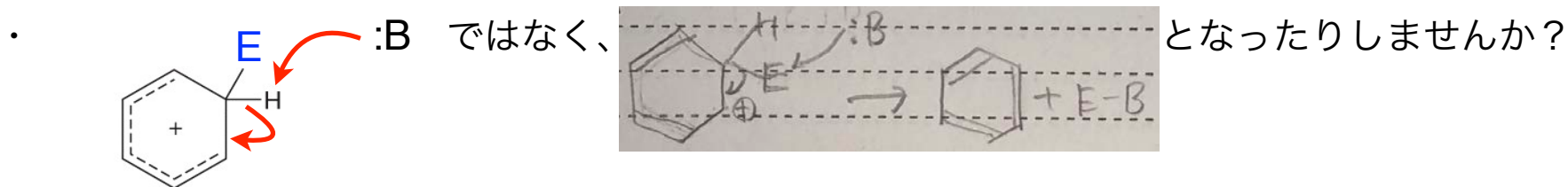


- ・アシリウムイオンが転位を起こさないのは第一級カルボカチオンではないからですか？
良く分からなかったです。



アシリウムイオンは共鳴安定化をうける
幸せなのに不幸せなものに変身したくない

質問/コメント集 ～芳香族求電子置換反応～



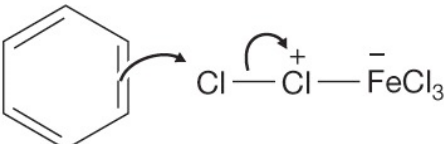
- ・ 芳香族求電子置換反応において、2番目のステップで酸性度の高い水素が脱離するというところで、脱離基は共役塩基としての性質が強いということを思い出しました。

- 惜しいけどちょっと違う。
- ① 酸性度の高い水素 = 良い脱離基 という訳ではない。
酸性度の高い水素 → 取れたあとの化合物（共役塩基）が安定（脱離能とは関係ない）
 - ② 脱離基の善し悪し（脱離能）は、その共役酸の強さで決まる。

質問/コメント集 ～芳香族求電子置換反応～

- ・ 酸塩化物で6,10-ナイロンのセバシン酸ジクロリドを思い出して おお～ となりました
- ・ 酸無水物は高校でやりましたが、酸塩化物はやってませんでした。
(合成高分子のナイロン66とかでは出てきた気がしますが解説はされませんでした)
- ・ Friedel-Craftsアシル化反応は酸塩化物以外のハロゲンを使っても起こるのでしょうか？

酸塩化物だけでなく、酸臭化物でも起きますし、酸無水物でも反応させられます

- ・ スライド41で  と書いてありますが、電子は真ん中の+のClにひきよせさせたりしませんか？

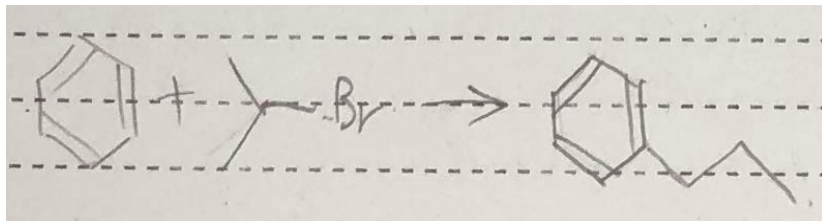
反応した結果できる生成物がより安定かどうか、が決め手。
真ん中の塩素に π 電子が攻撃すると何ができる（てしまう）か...？

- ・ 求核置換反応と脱離反応では「求核剤」が出てきて、今回は「求電子剤」がでてきました。
SN1反応やE1反応で出てきたカルボカチオンは実は求電子剤としても考えられるんですかね。
そうです！あえて言及はしてきてませんが、電子対を受けとる形で反応してるのは全て求電子剤です。
カルボカチオンだけでなく、他にも色々です。

有機反応の多くは電子対の授受であるため、その場合は求電子剤をルイス酸と見なすこともできる。求電子剤には、陽イオン (H^+ 、 NO_2^+ など)、分極により陽性を帯びた部位を持つ中性分子 (HCl 、各種ルイス酸、ハロゲン化アルキル、カルボン酸ハロゲン化物、カルボニル化合物など)、求核種の接近により分極が誘起される分子 (Cl_2 、 Br_2 など)、酸化剤 (過酸 RC(=O)OOH など)、オクテット則を満たさないカルベンやラジカルやほかの分子 (BH_3 、 DIBAL など)、などが含まれる。【wikipedia 「求電子剤」より】

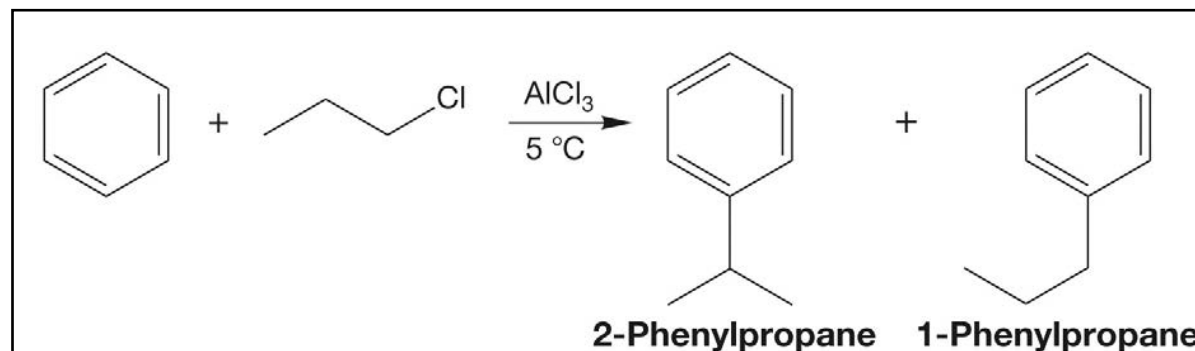
質問/コメント集 ～芳香族求電子置換反応～

- 以下の反応は起こりますか（明らかに副生成物ですが）



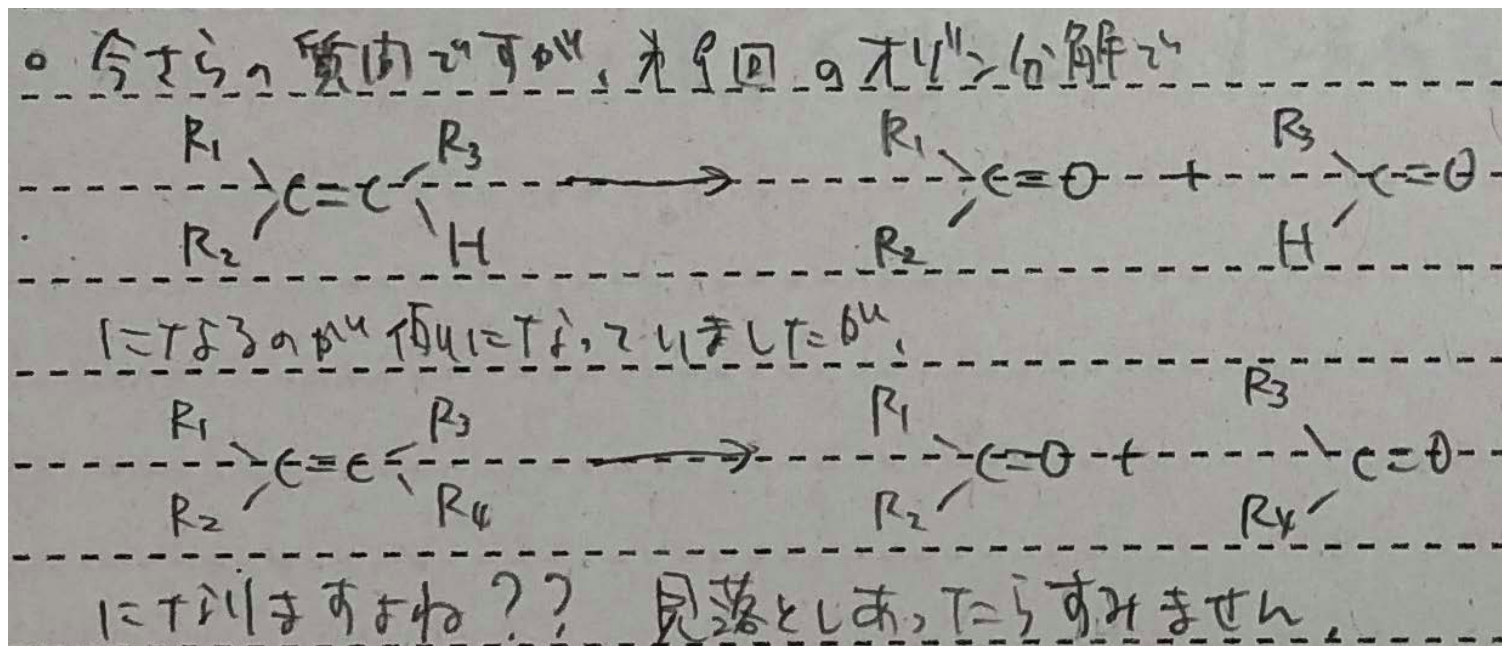
起こらない or 無視できるレベルだと思います

- スライド47のFriedel-Craftsアルキル化反応の反応温度が5°Cとなっていますが、なぜこのような低温で反応させるのですか？
高温の方が反応が早く進みそうな気がするのですが...。
高温にすると（ジアゾ化のように）何らかの副反応が進行するのでしょうか？



今日やるけど、アルキル化されると芳香環の反応性あがる
つまり、二置換などが起こりがち

質問/コメント集 ～その他～



はい。四置換アルケンの場合、ケトン二分子が生成します。

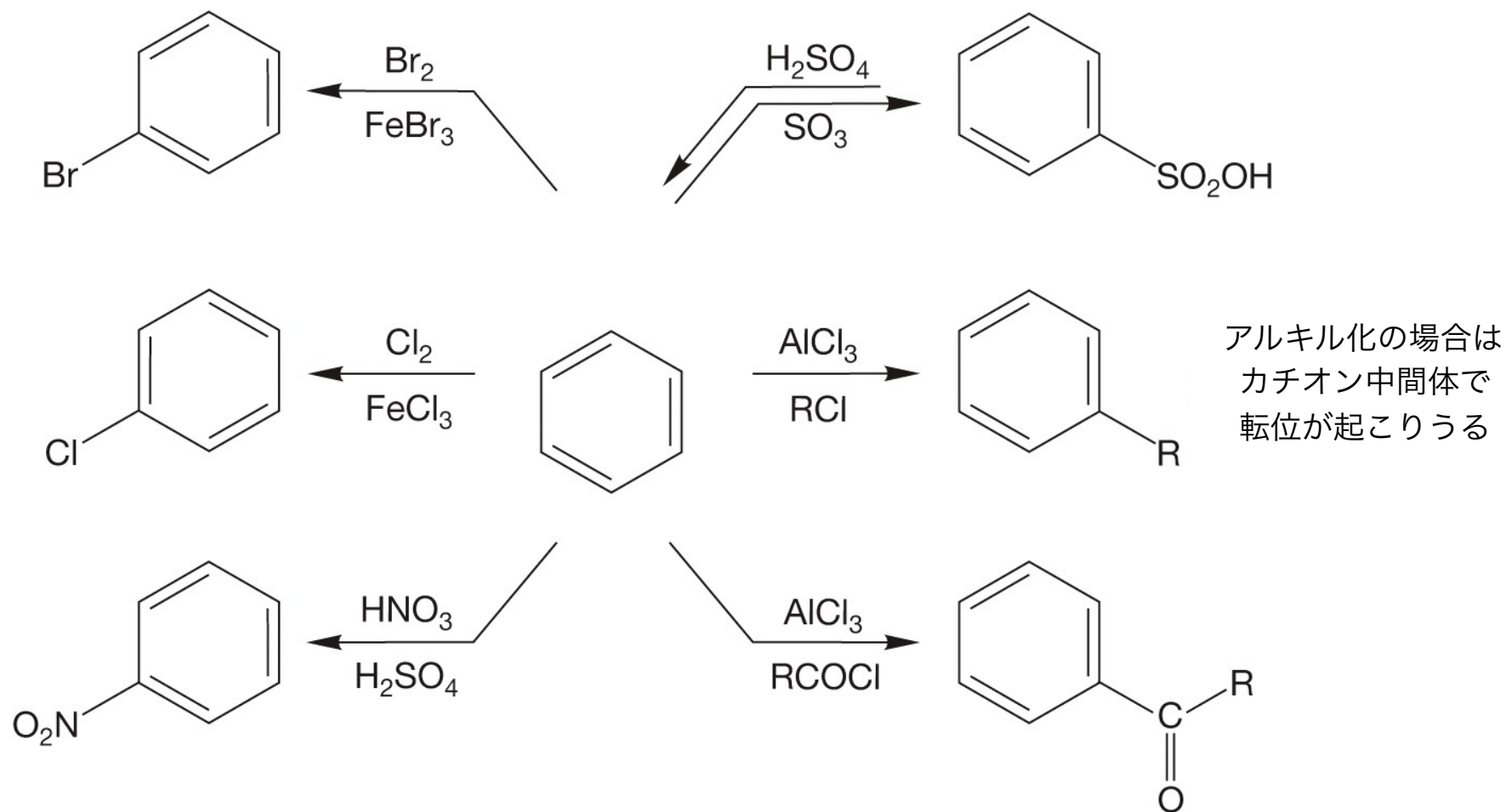
質問/コメント集 ～感想～

- ・有機は苦手ですが、説明がとても分かり易かったです **光栄です**
- ・色んな反応が頭の中でごちゃごちゃになってしまいます... **まとめつくりました 来週解説予定**
- ・練習問題1が難しかったです
- ・サッカー見たから眠いです。
- ・サッカーW杯で日本代表が決勝Tに進んで嬉しいです！！先生はW杯見ますか？
- ・教室が寒いです。上着を忘れた自分がいけないのですが、冷房を弱めに次回からして頂きたいです
- ・クーラー最高！ **どうしようね...**
- ・教室の左後ろの方に座っていた男子が非常にうるさかったです。僕は少しはなれていたので注意しませんでした。 **自分のことを思う人、自重してね。**
- ・演習とヒントの間合いが嬉しい（幸せ） **光栄です**
- ・試験が近付いてきたし、もう少し頑張ろう！ **応援してます**

今日は
芳香族求電子置換反応を
さらに掘り下げる



前回紹介した芳香族求電子置換反応たち



今日は、

1. ベンゼン環上置換基の変換
2. 置換ベンゼンを使った芳香族求電子置換反応

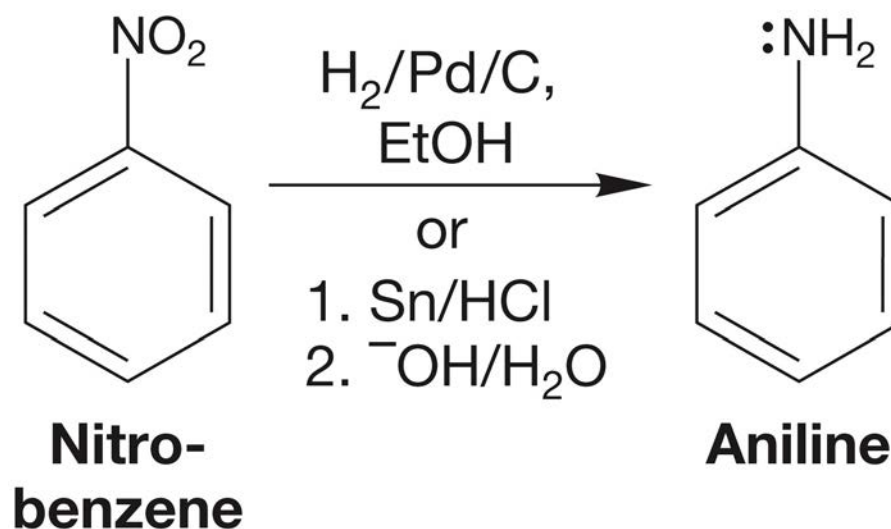
を学ぶ。



ニトロベンゼンからアニリンの合成

($\text{NO}_2 \rightarrow \text{NH}_2$ への還元)

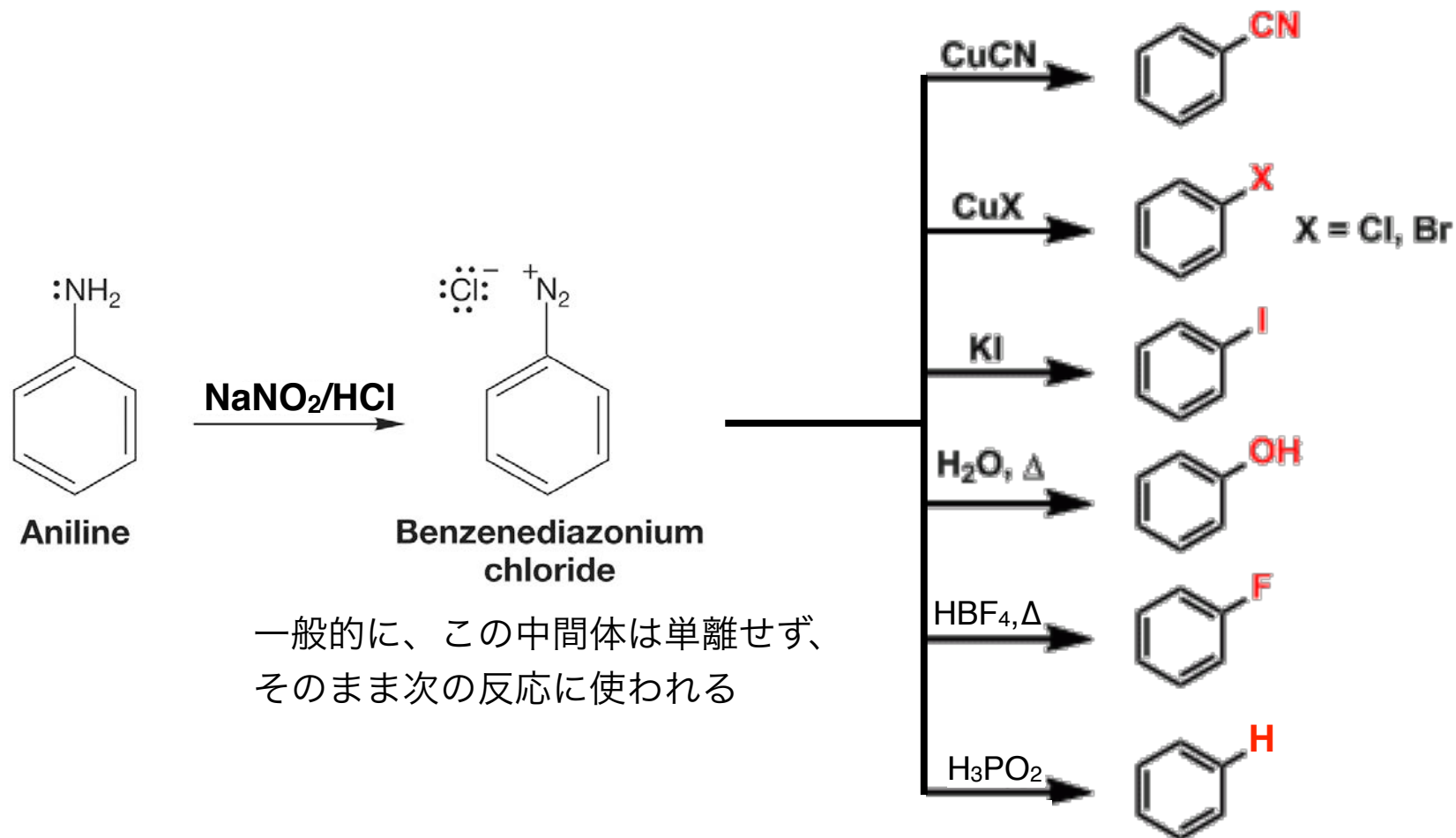
ベンゼン環上のニトロ基は、他の色々な官能基へ変換可能な重要出発物質
変換の一段階目はニトロ基を還元して、アミノ基（アニリン）を作る



ベンゼン環上のアミノ基は、他の色々な官能基へ変換できる！（次ページ）

★★ ジアゾニウム生成とSandmeyer反応

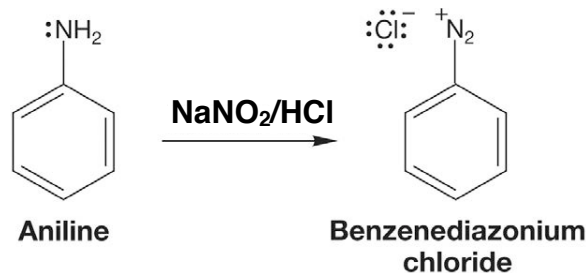
ベンゼン環上のアミノ基は、ジアゾニウム経由で色々な官能基へ変換できる！



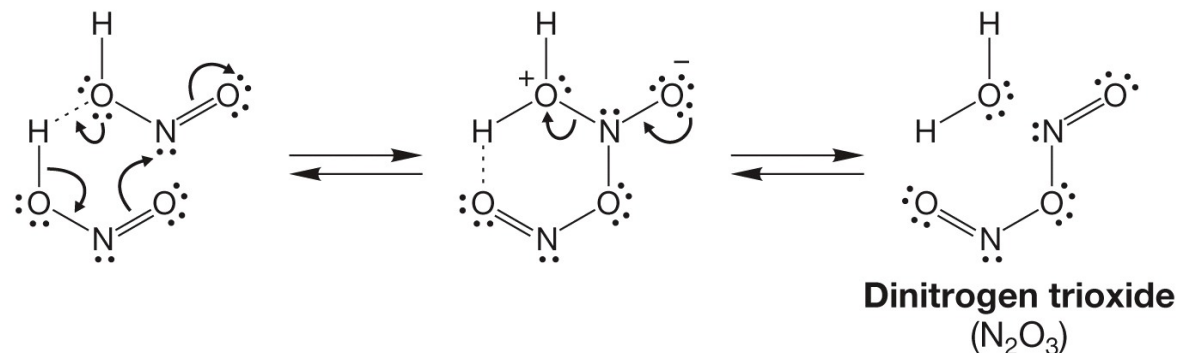


【参考】

ジアゾニウム生成の反応機構

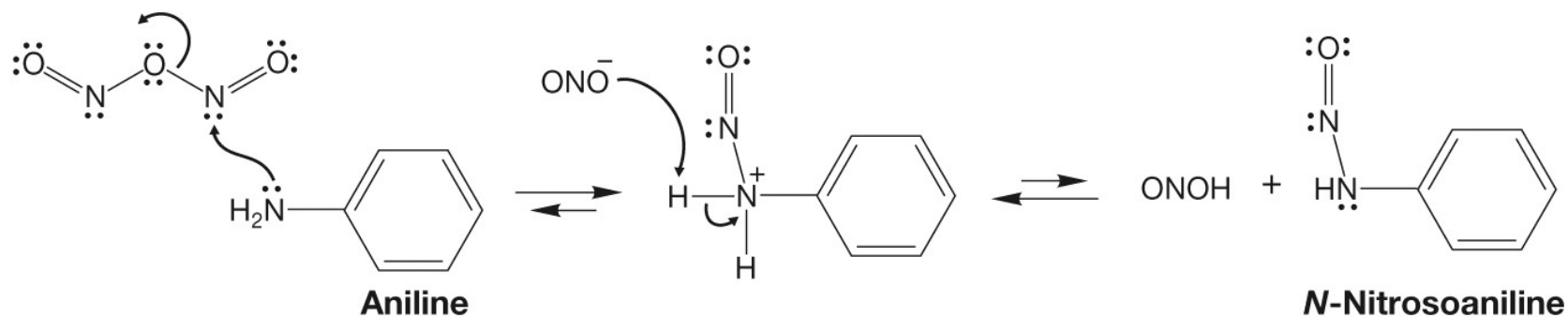


亜硝酸ナトリウムと塩酸の酸塩基反応により、亜硝酸が発生
亜硝酸から、三酸化二窒素の生成



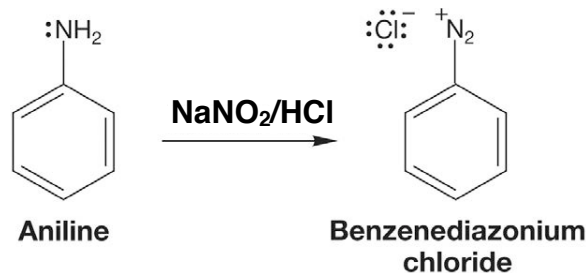
アニリンが三酸化二窒素を攻撃、亜硝酸イオンが脱離
さらにプロトンが外れるとN-ニトロソアニリンが生成

復習ポイント！
酸＝良い脱離基





【参考】ジアゾニウム生成の反応機構

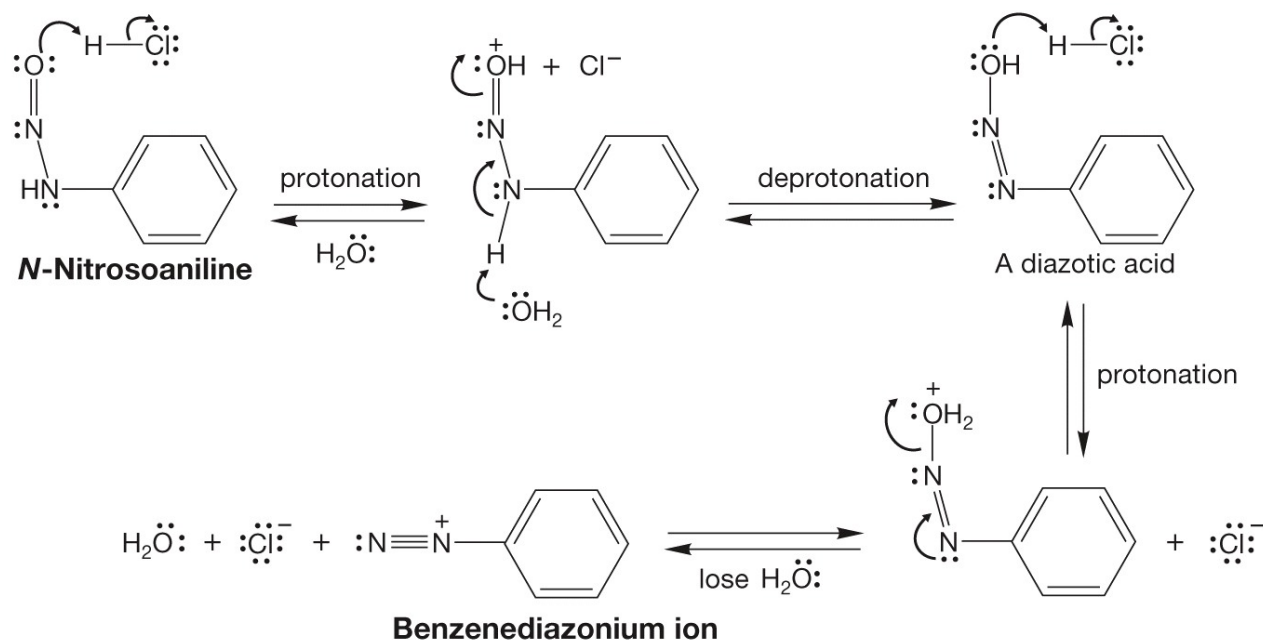


復習ポイント！

アルコールを脱離させるには？

N-ニトロソアニリンは、OH体と平衡にある

OHがプロトン化されると脱離能アップして脱離、ジアゾニウムができる

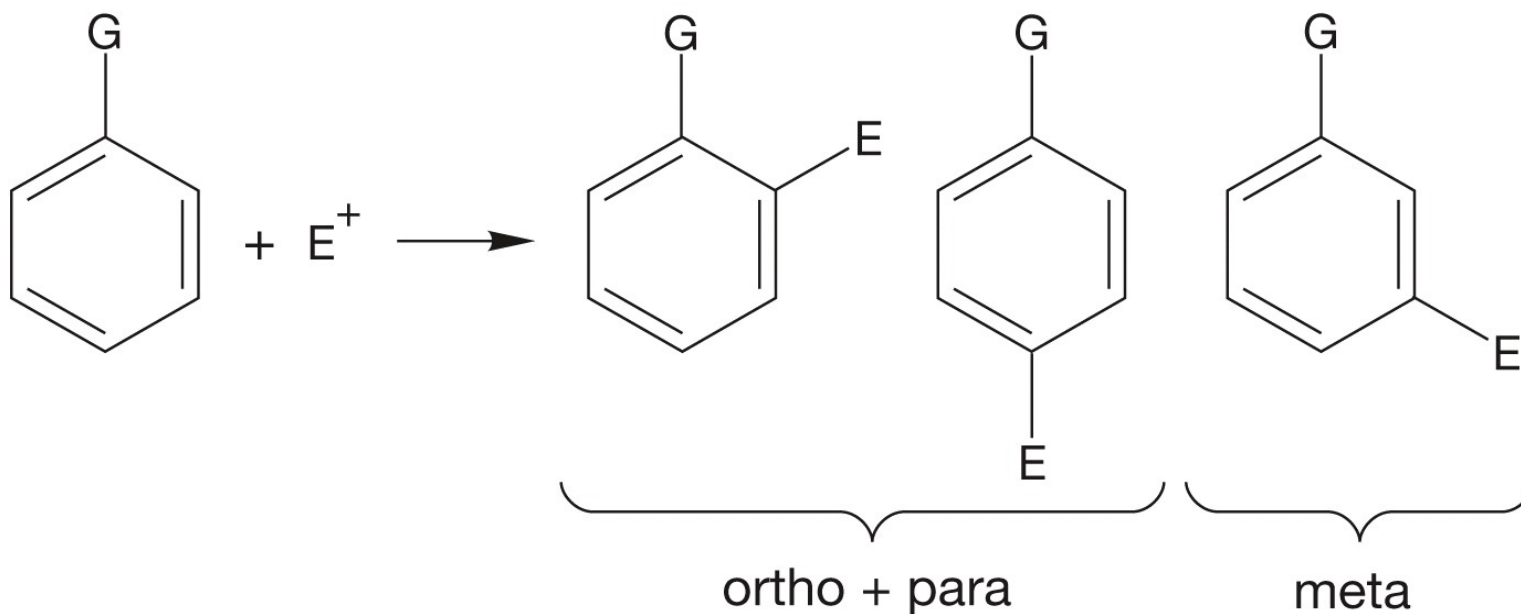


複雑に見えるかもしれないが、この三段階の反応機構は、すでに学んだシンプルな反応の組み合わせが順に起こっているだけ



置換ベンゼンで芳香族求電子置換反応を行うと…

ベンゼン環上の置換基 (G) の種類によって、オルト・メタ・パラの二置換体ができる



ベンゼン環上の置換基 (G) は、

オルト/パラの二置換体を与えるもの (オルト-パラ配向性) = 反応性が高い

メタの二置換体を与えるもの (メタ配向性) = 反応性が低い

に分類できる



置換ベンゼンで芳香族求電子置換反応を行うと…

置換基 (G) は、

オルト/パラの二置換体を与えるもの (オルト-パラ配向性) = 反応性が高い

メタの二置換体を与えるもの (メタ配向性) = 反応性が低い に分類できる

—G	Position	Relative Rate
—NH ₂ , —NHR, —NR ₂	o/p	Very fast
—OH	o/p	Very fast
—OR	o/p	Very fast
—R (alkyl)	o/p	Fast
—H (benzene)		1
—I, —Cl, —Br, —F	o/p	Slow
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—C—} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—S—OH} \end{array}$ $\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{—N}^+ \\ \diagdown \\ \text{O}^- \end{array}$ $\text{—C}\equiv\text{N}$ $\text{—}^+\text{NR}_3$	(R' = OH, OR, NH ₂ , Cl, alkyl, aryl) m m m m m	Slow Slow Slow Slow Slow

o, ortho; p, para; m, meta.

① なぜこれらは
速くてo/p配向か？

② なぜアルキルは
速くてo/p配向か？

④ なぜハロゲンは
遅くてo/p配向か？

③ なぜこれらは
遅くてm配向か？



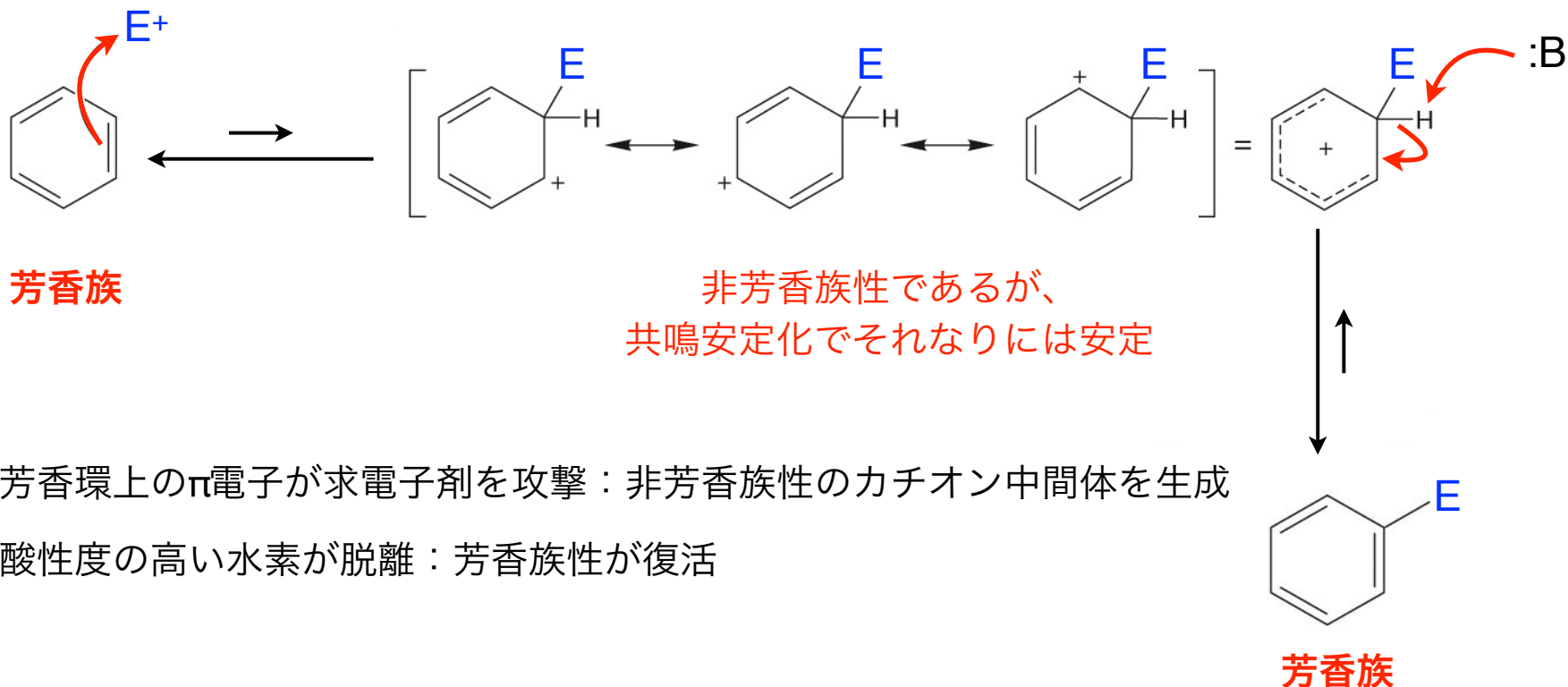
-NH₂/-OH/-OR基はo/p配向で高反応性

なぜか？

その前に、芳香族求電子置換反応の復習

反応試薬は、ベンゼン環と求電子剤 (electrophile)

ここでは、求電子剤の一般式としてE⁺で示す



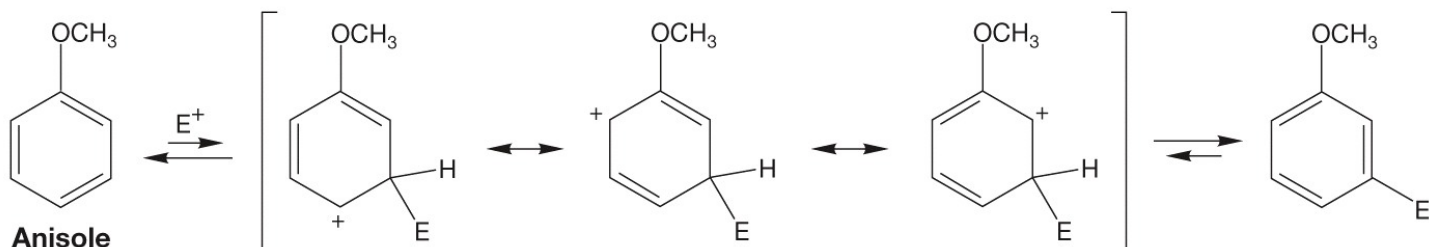
1. 芳香環上のπ電子が求電子剤を攻撃：非芳香族性のカチオン中間体を生成
2. 酸性度の高い水素が脱離：芳香族性が復活



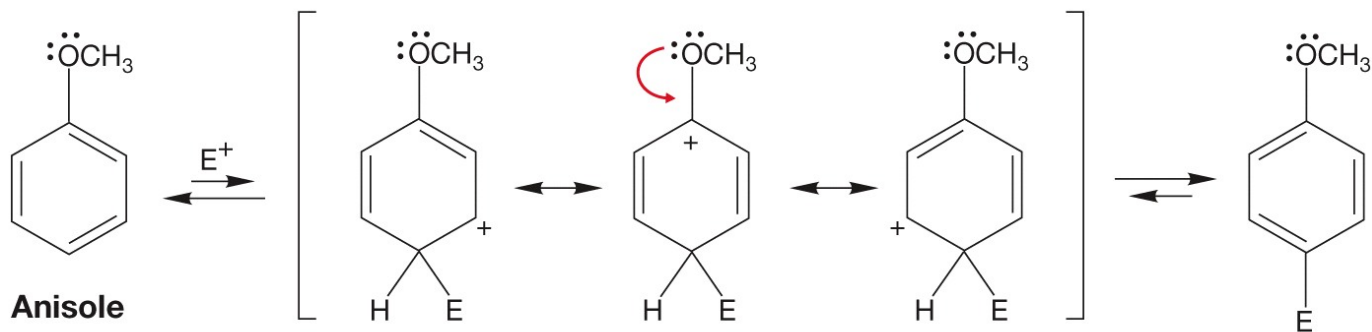
-NH₂/-OH/-OR基はo/p配向で高反応性

なぜか？

メタ位で反応が起こるとすると、特に変わったことなくフツのベンゼンと同じ



一方で、パラ位での反応だと...

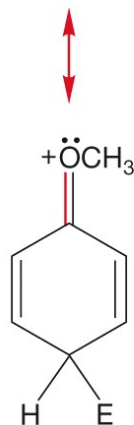


中間体のカチオンの共鳴構造式が多く、
より大きな共鳴安定化を受ける

復習ポイント！
共鳴構造と安定性の関係

オルト位では？：練習問題

オルト位での反応における中間体の
共鳴構造式を書け



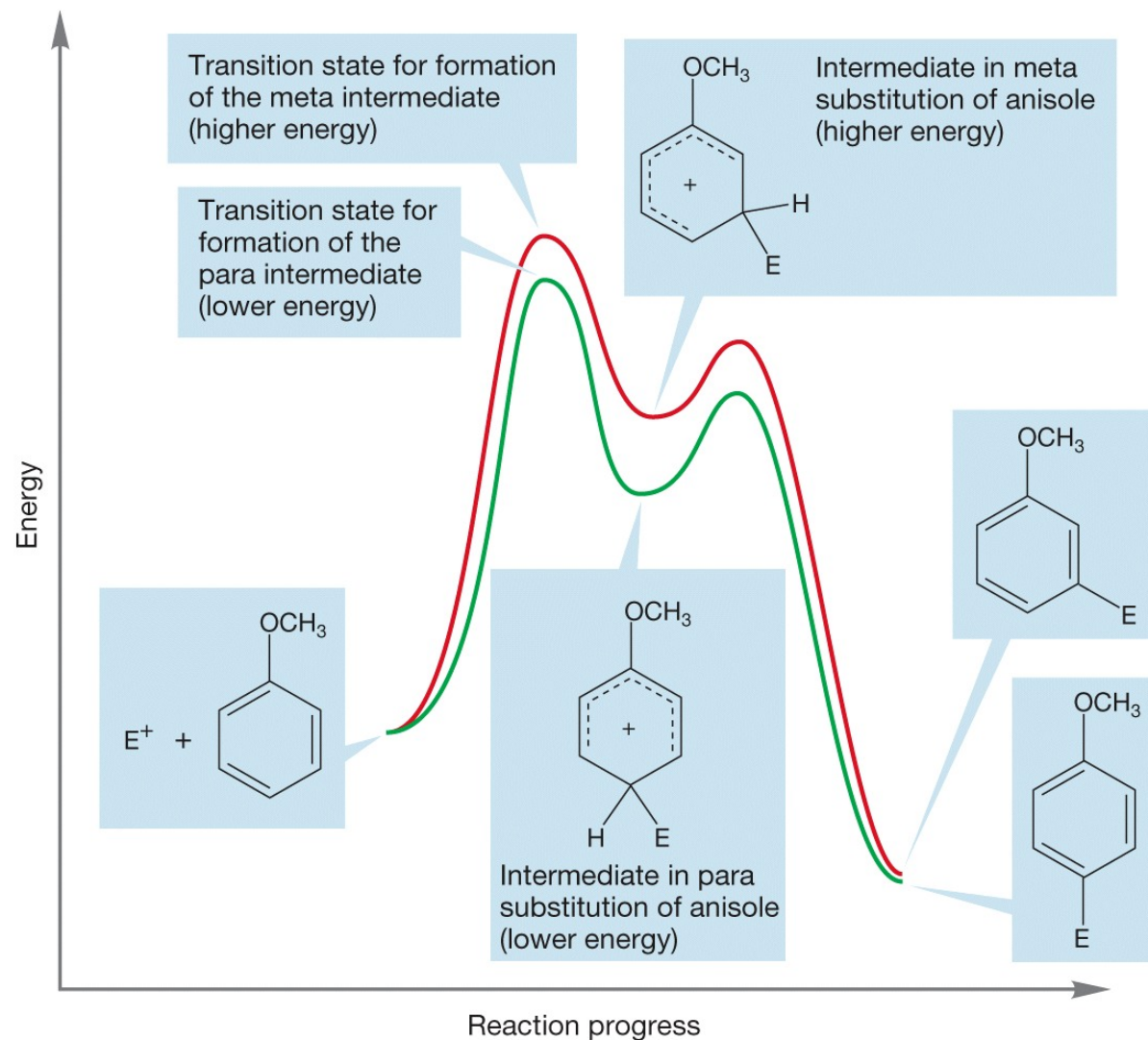
There is another resonance form
for this intermediate; here it is!



-NH₂/-OH/-OR基はo/p配向で高反応性

その結果、

- o/p位での反応が有利
- フツアのベンゼンよりも速い速度で進行する



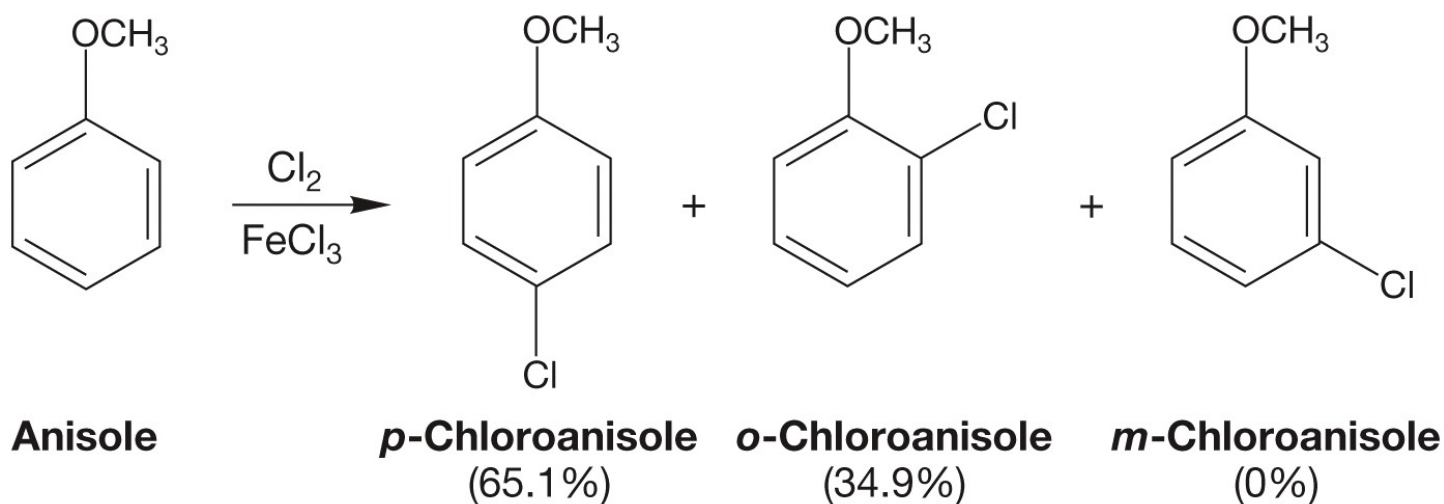


-NH₂/-OH/-OR基はo/p配向で高反応性

その結果、

- o/p位での反応が有利
- フツアのベンゼンよりも速い速度で進行する

実際に、

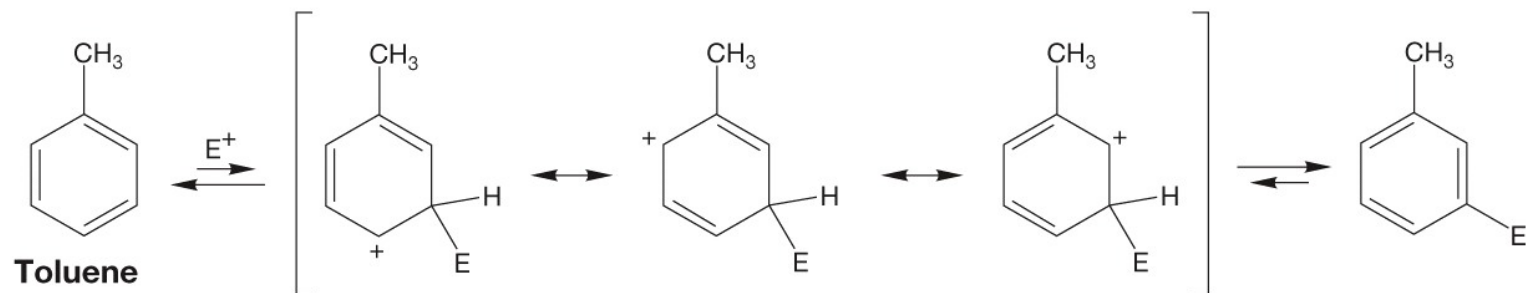




アルキル基はo/p配向でちょっと高反応性

なぜか？

メタ位で反応が起こるとすると、特に変わったことなくフツアのベンゼンと同じ

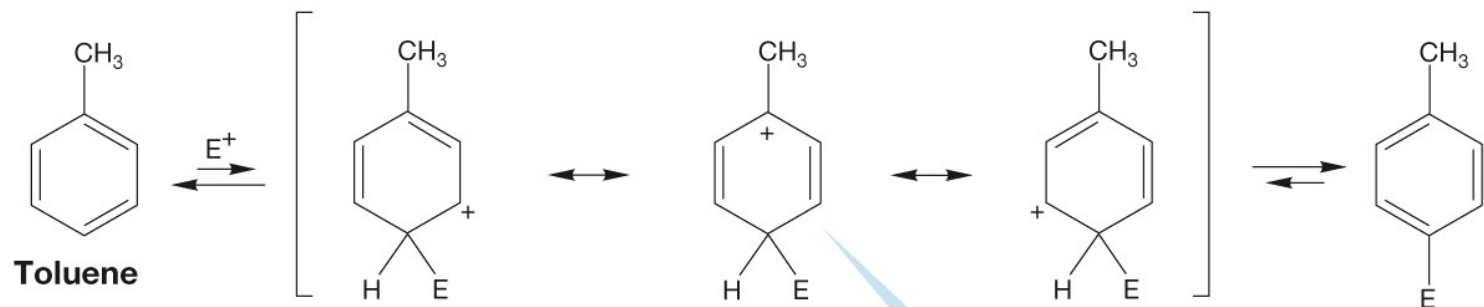


中間体の共鳴構造式は全て第二級のカルボカチオン

一方で、パラ位での反応だと...

復習ポイント！

カルボカチオンの安定性



この共鳴構造式は
第三級のカルボカチオン

オルト位では？：練習問題

オルト位での反応における中間体の
共鳴構造式を書け

より安定な中間体を経る反応（オルト位/パラ位）が優先

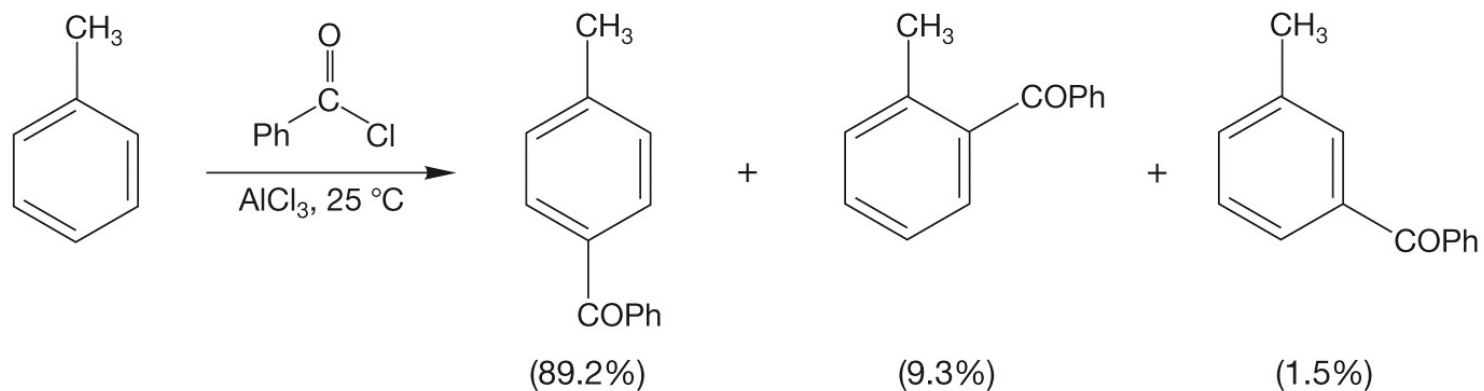
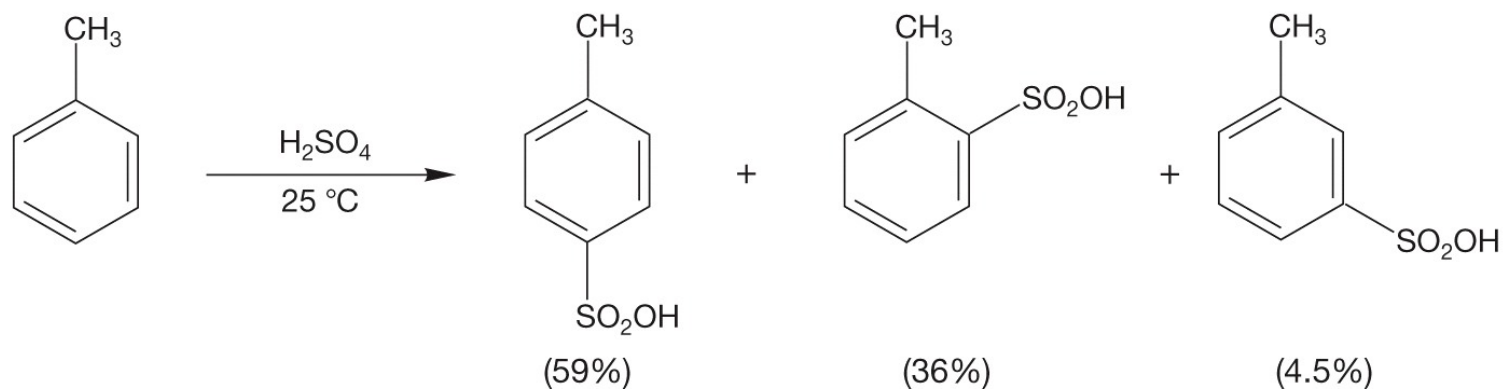


アルキル基はo/p配向でちょっと高反応性

その結果、

- ・ o/p位での反応が有利
- ・ フツーのベンゼンよりも多少は速い速度で進行する

実際に、



★★電子供与性官能基は芳香環を活性化する

ここまで見てきた、

- -NH_2
- -OH
- -OR
- アルキル基

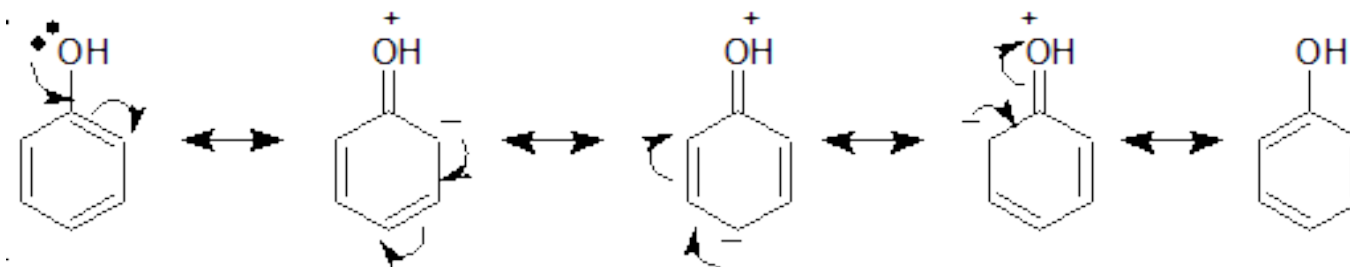
は電子を押し出す性質を持つ官能基

電子供与性

その結果、ベンゼン環の電子密度が上昇 = ベンゼン環の求核性アップ
= 芳香族求電子反応の反応性アップ

電子供与性を有する芳香環は、「**活性化された芳香環**」と呼ばれる

フェノールを例に、電子の流れ込みを矢印と共鳴構造式で図示すると...



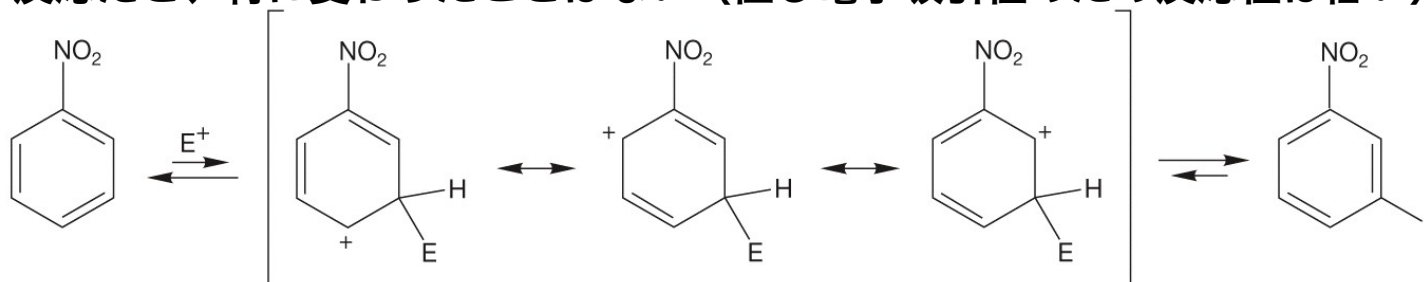
(この共鳴構造式からも、o/p配向が説明できる)



電子吸引性官能基はm配向で低い反応性

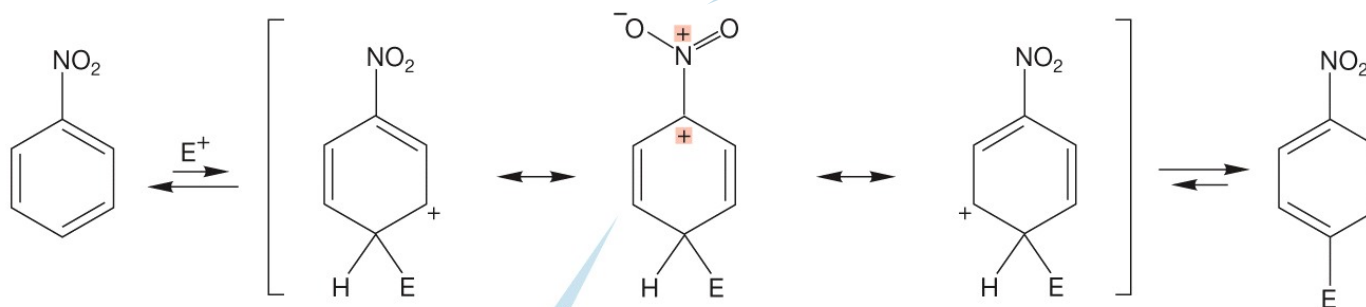
なぜか？

メタ位での反応だと、特に変わったことはない（但し電子吸引性のため反応性は低い）



一方で、パラ位での反応が起こったとすると...

NO₂をきちんと書くとこうなる



この共鳴構造式は二つの正電荷が隣り合う原子に存在不安定なため、共鳴安定化にはほとんど寄与しない

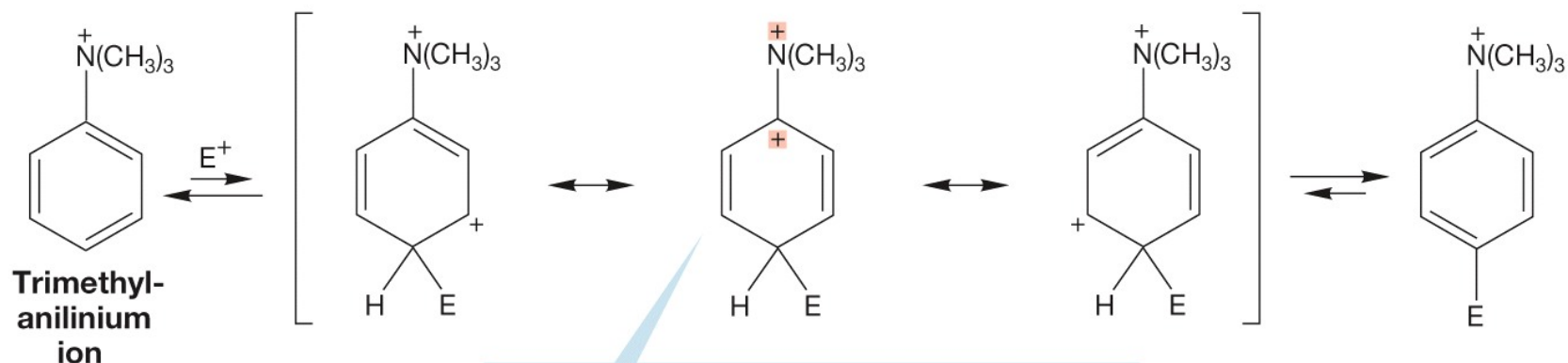
まだマシな中間体を経る反応（メタ位）が優先



電子吸引性官能基はm配向で低い反応性

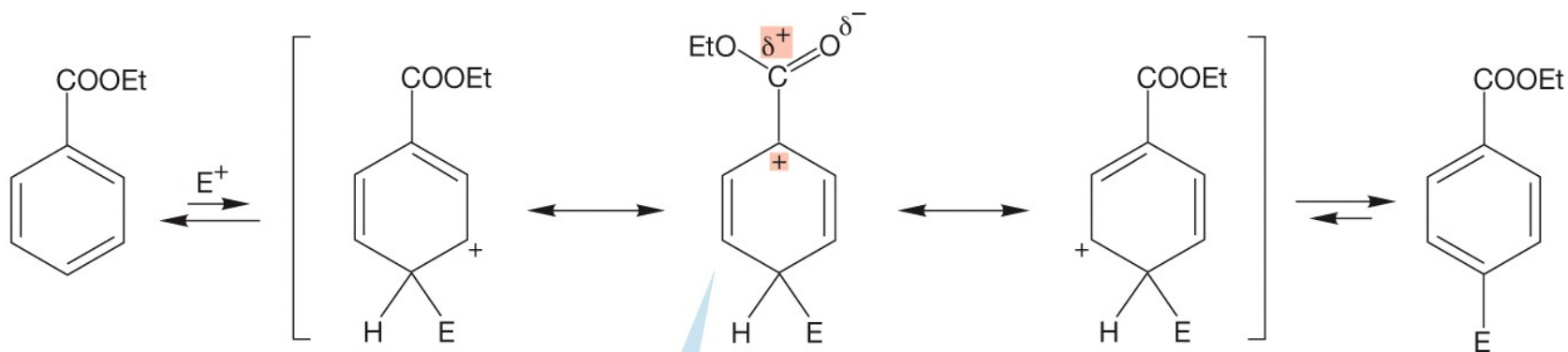
他の電子吸引性官能基（m配向）の中間体も紹介

アンモニウム基を置換基にベンゼン環がパラ位で置換反応を起こすとすると...



In this resonance form, two positive charges are very close; this form will contribute little

エステル基を置換基にベンゼン環がパラ位で置換反応を起こすとすると...



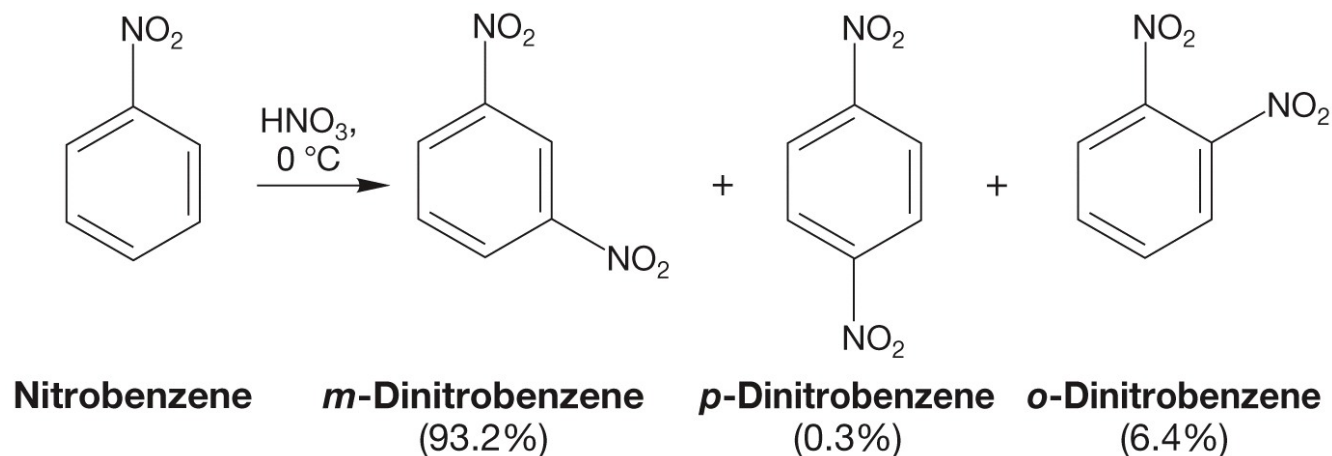
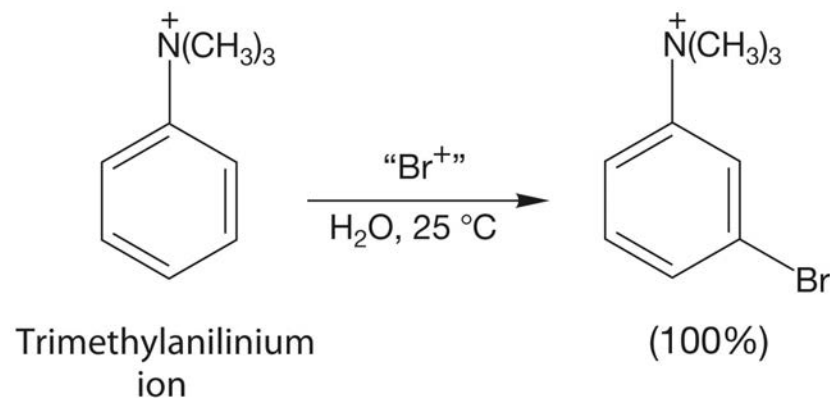
In this resonance form, a positive charge and a partial positive charge are very close; this form will contribute little



電子吸引性官能基はm配向で低い反応性

まだマシな中間体を経る反応（メタ位）が優先

実際に、

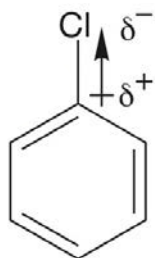




ハロゲン基はo/p配向なのに低い反応性

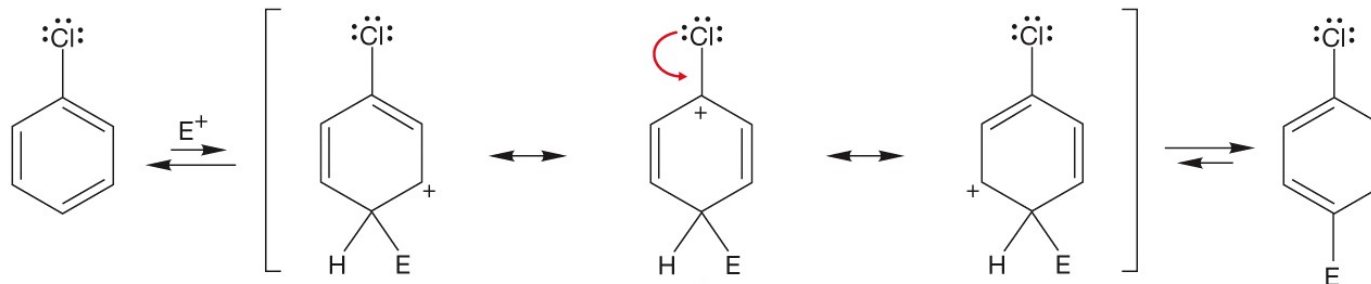
なぜか？

ハロゲンは電子吸引性基として働き、ベンゼン環を不活性化する → なので低い反応性

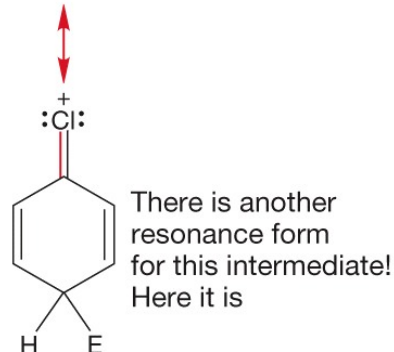


「誘起効果」

一方で、中間体はオルト/パラが有利



「共鳴効果」



復習ポイント！

単純ではないアルケンの付加反応
(塩素置換カルボカチオンの安定性)

共鳴効果的には活性化だが、誘起効果的には不活性化



多置換ベンゼンの合成

多置換ベンゼンの合成では、官能基の配向性を考えると生成物を予測できる

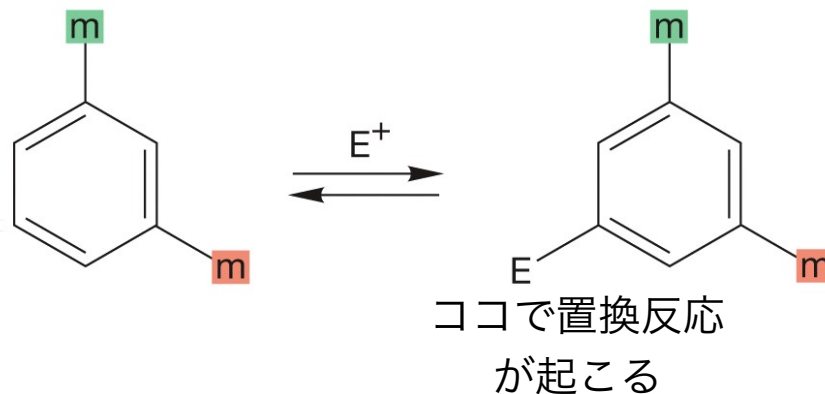
例えば...

二つのメタ配向基が、メタの関係で存在する場合

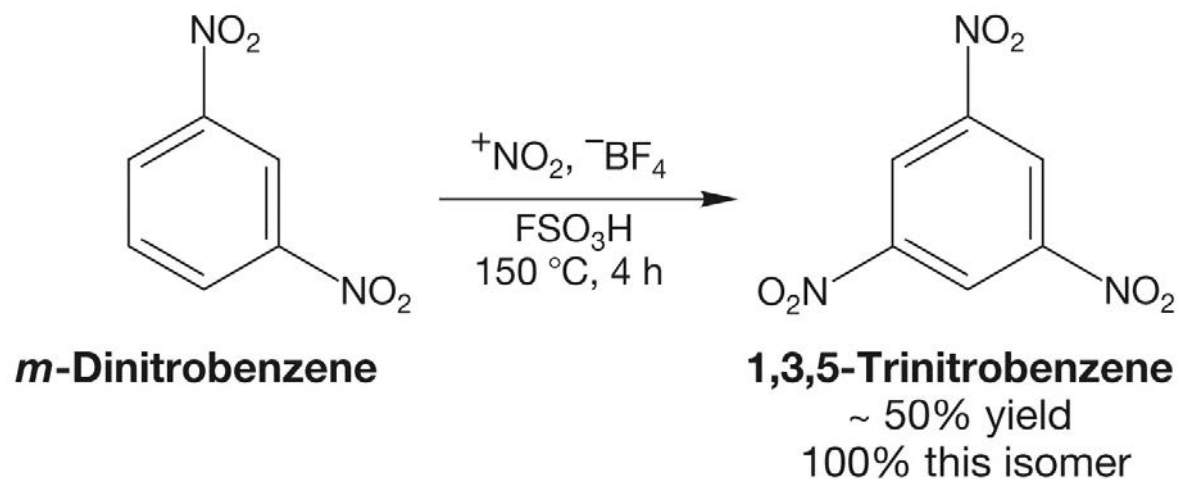
m = メタ配向基
m = 別のメタ配向基

m directs here

m directs here



実際に



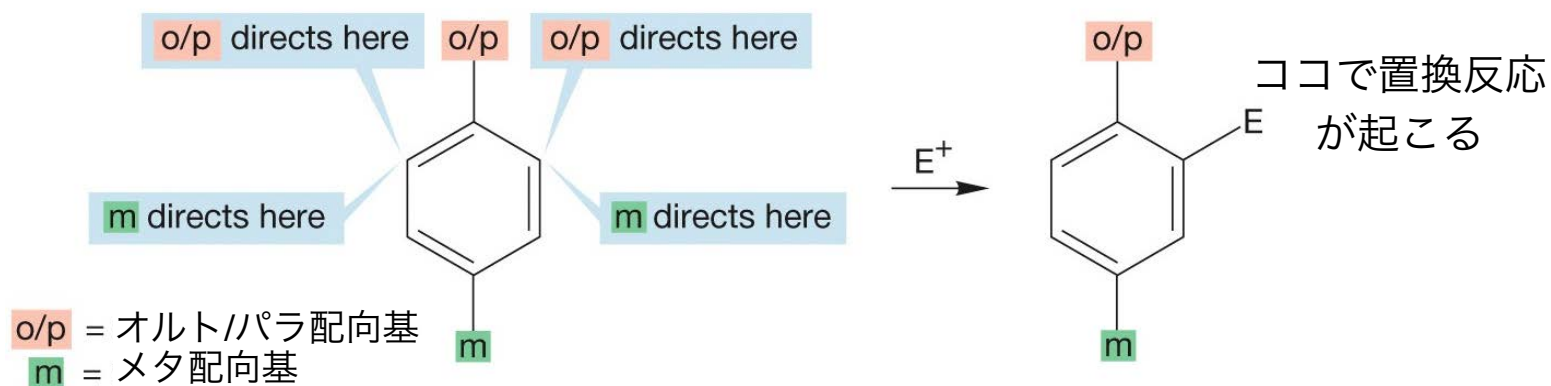


多置換ベンゼンの合成

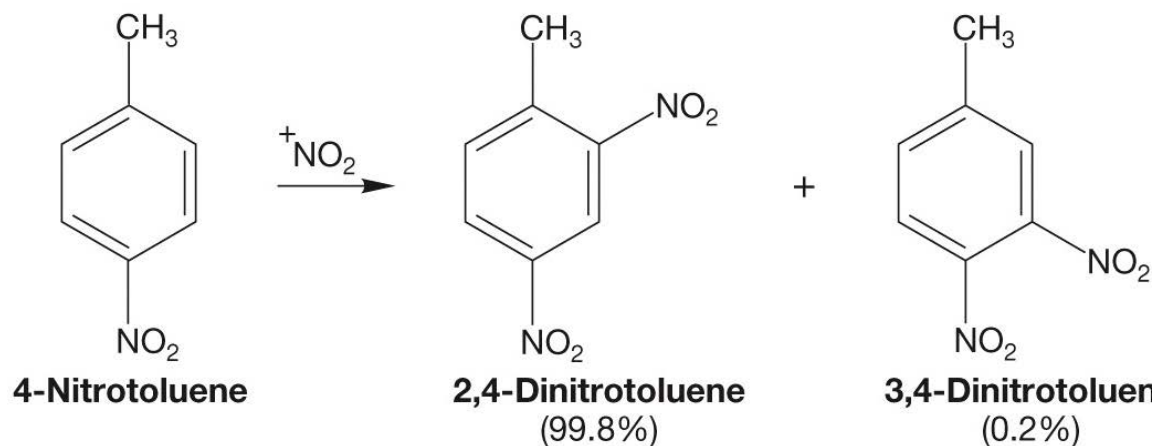
多置換ベンゼンの合成では、官能基の配向性を考えると生成物を予測できる

例えば...

オルト/パラ配向基とメタ配向基が、パラの関係で存在する場合



実際に

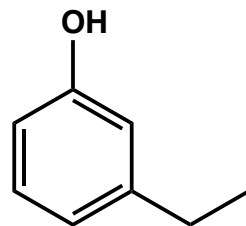


★★置換ベンゼンの選択的な合成ルート開発

今日学んだ官能基変換と置換配向性を組み合わせれば、様々な置換ベンゼンを作れる

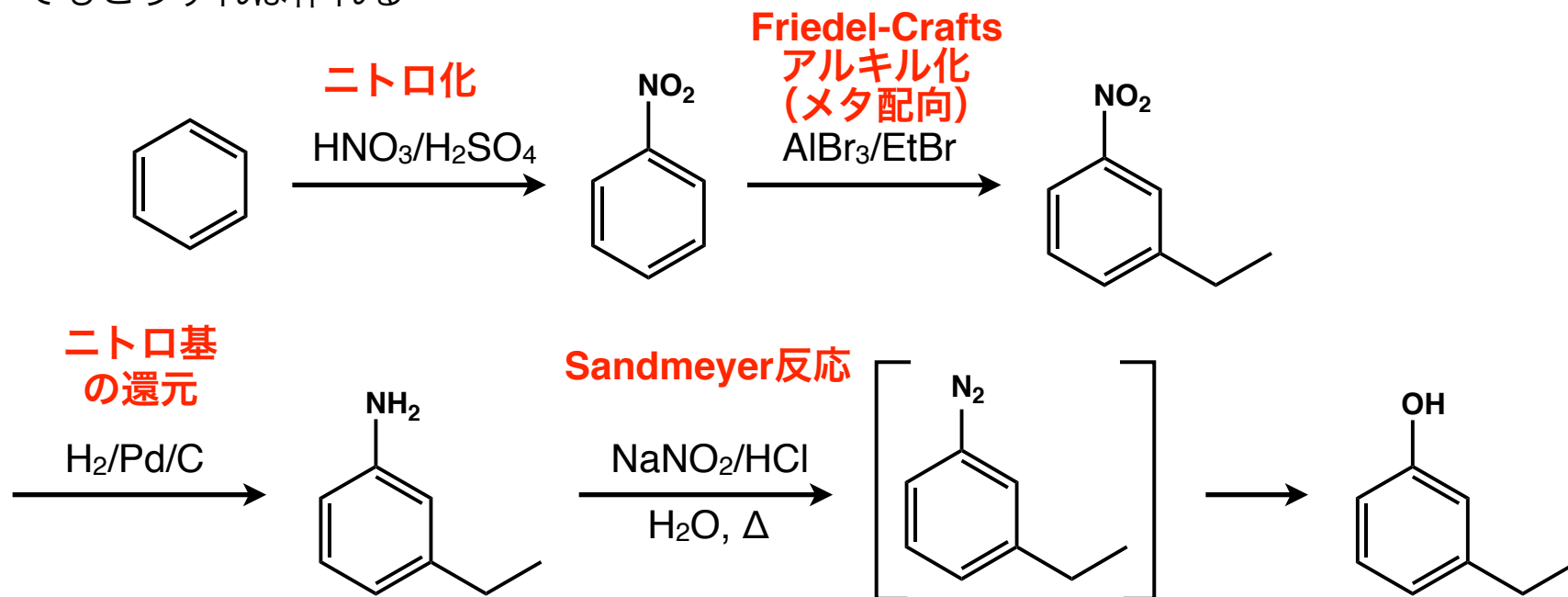
例えば...

-OH基もアルキル基もo/p配向性なので、



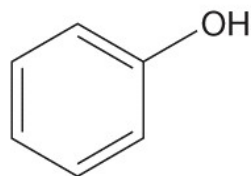
は単純な置換反応のみでは作れない

でもこうすれば作れる



演習問題

1. 適当な無機試薬を用いて、ベンゼンから次の化合物を合成する反応経路を考えよ。
(炭素を含む有機試薬は用いてはならない)



2. あとで出します。
3. 授業の感想や質問などをどうぞ。

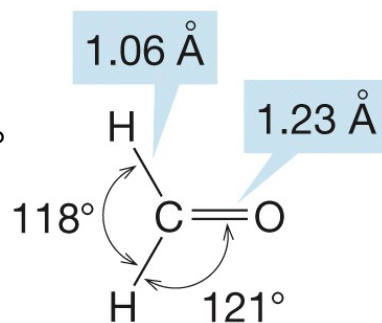
カルボニル化合物



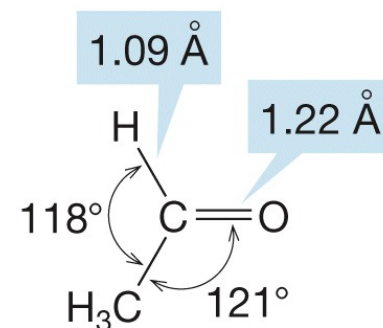
炭素-酸素二重結合の構造

アルデヒド・ケトンなどの炭素-酸素二重結合を含む化合物をカルボニル化合物と呼ぶ

炭素はsp²混成、平面で結合角はほぼ120°

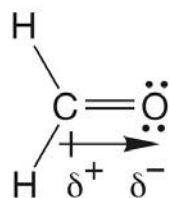
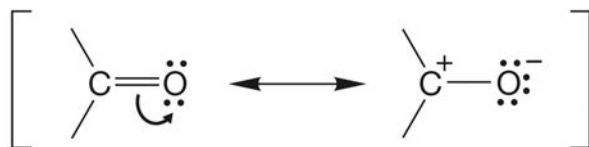


Methanal
(formaldehyde)



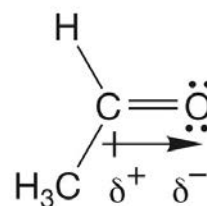
Ethanal
(acetaldehyde)

C=O結合は大きく分極



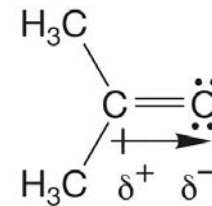
2.33 D

Methanal
(formaldehyde)



2.69 D

Ethanal
(acetaldehyde)



2.88 D

Propanone
(acetone)



カルボニル化合物の物理的性質

分極している = 極性がある程度高い = 水溶性が比較的高い

例えば、アセトンやアセトアルデヒドは水と任意の割合で混じり合う

分極している = 極性がある程度高い = 沸点が高い

TABLE 16.1 Some Physical Properties of Carbonyl Compounds

Compound	bp (°C)	mp (°C)	Density (g/mL)	Dipole Moment (D)
Formaldehyde	-21	-92	0.815	2.33
Acetaldehyde	20.8	-121	0.783	2.69
Propionaldehyde	48.8	-81	0.806	2.52
(Propane) ^a	-42.1			
(Propene) ^a	-47.4			
Benzaldehyde	178.6	-26	1.04	
Acetone	56.2	-95.4	0.789	2.88
(Isobutene) ^a	-6.9			
Ethyl methyl ketone	79.6	-86.3	0.805	
Cyclohexanone	155.6	-16.4	0.948	
Methyl phenyl ketone	202.6	20.5	1.03	
Diphenyl ketone	305.9	48.1	1.15	2.98

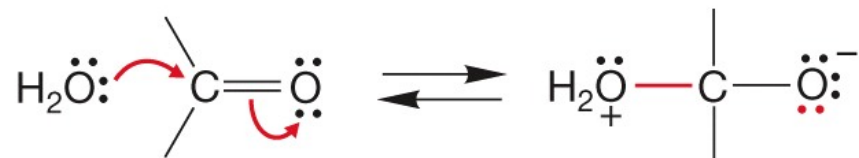
bp, boiling point; mp, melting point.

^aHydrocarbons for comparison purposes.



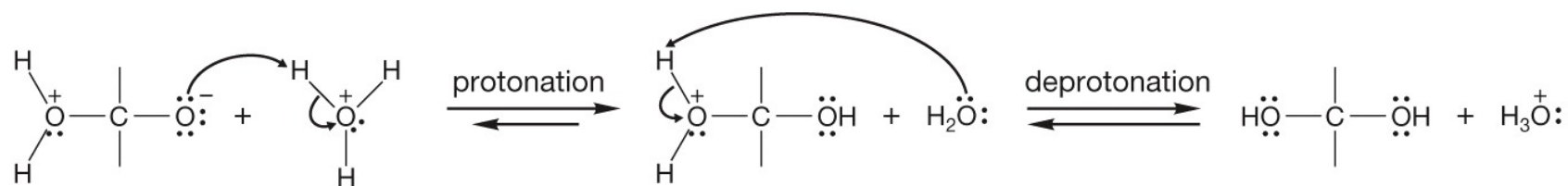
カルボニル化合物の付加反応：水和反応

カルボニルに対する水の付加反応（水和）



★★ カルボニル炭素は δ^+ であり、求電子剤である！（求核剤と反応しやすい）

その後、二段階のプロトン移動を経て水和物が生成する

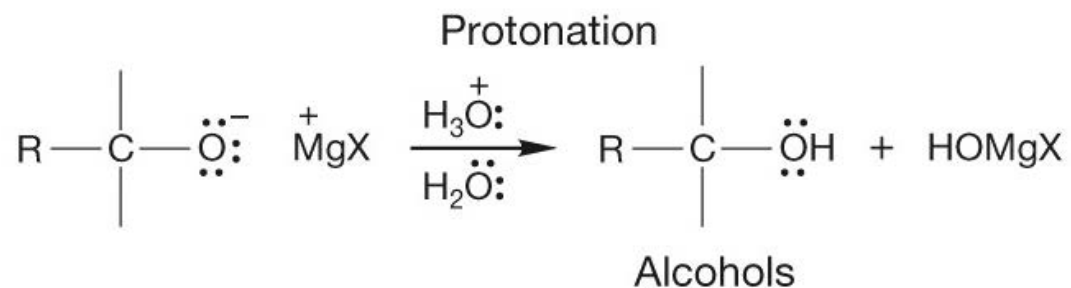
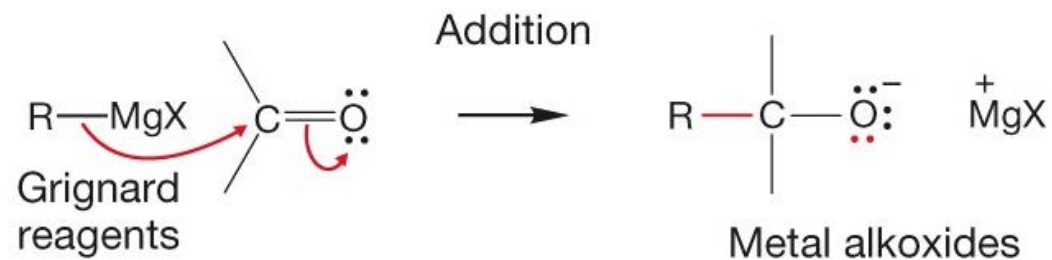


（この二つのプロトン移動の順序は逆でも可）



有機金属試薬との反応

グリニャール試薬と反応することで、置換されたアルコールを与える



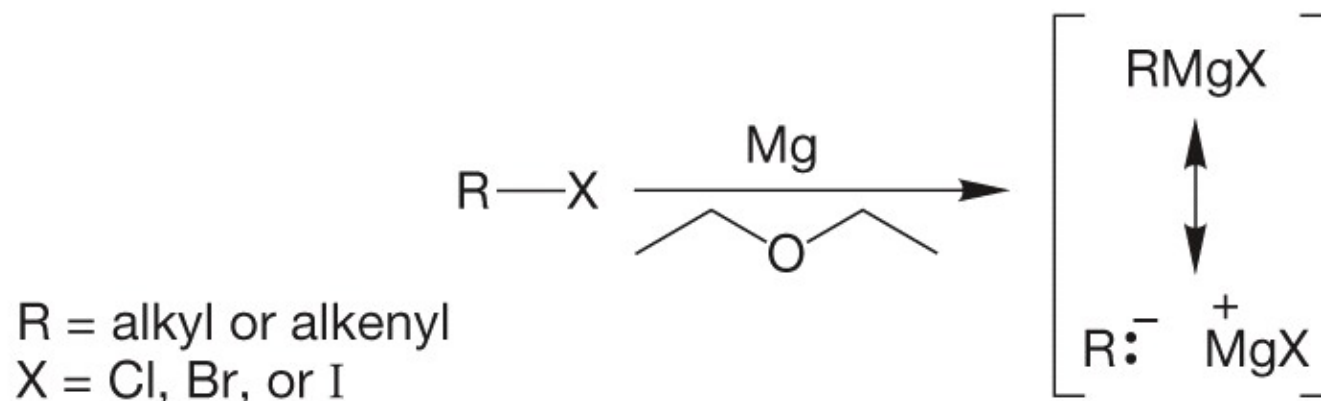


グリニャール試薬 R- 等価体試薬

そもそも、グリニャール試薬って？

ハロゲン化アルキルと金属マグネシウムの反応で生成

Grignard reagent synthesis



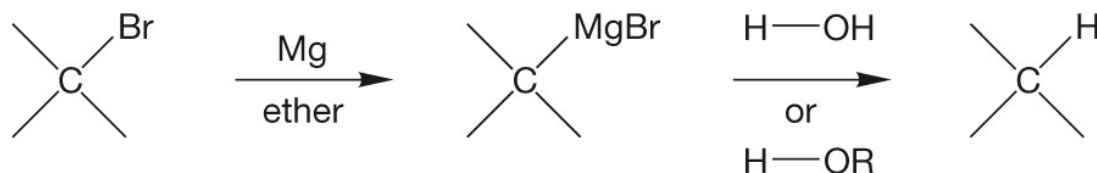
グリニャール試薬は、R⁻ が求核剤及び塩基として働く



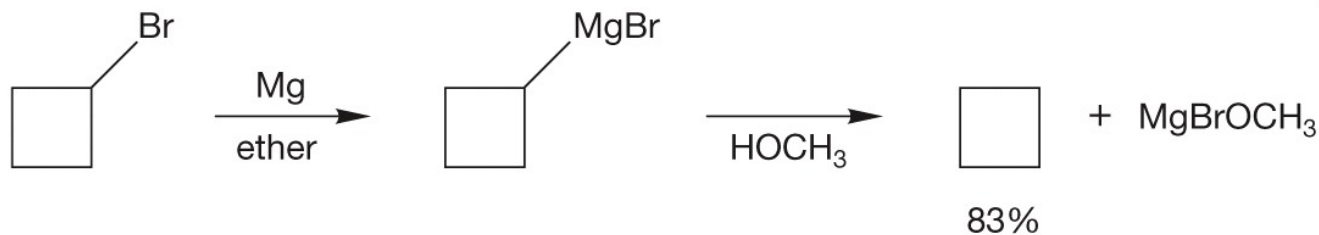
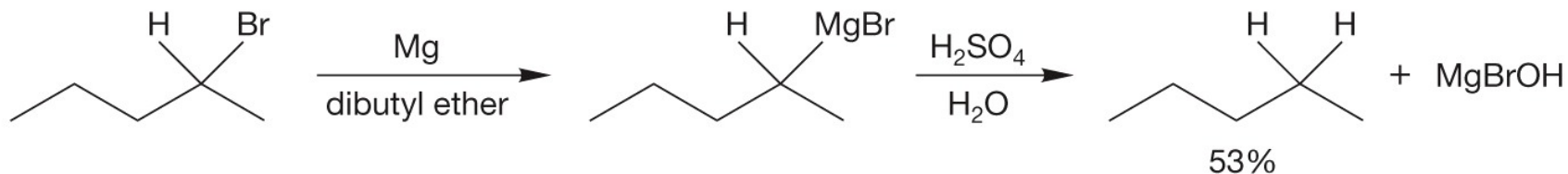
グリニャール試薬 R-等価体試薬

塩基としてのグリニャール試薬の使用例

THE GENERAL CASE



SOME SPECIFIC EXAMPLES

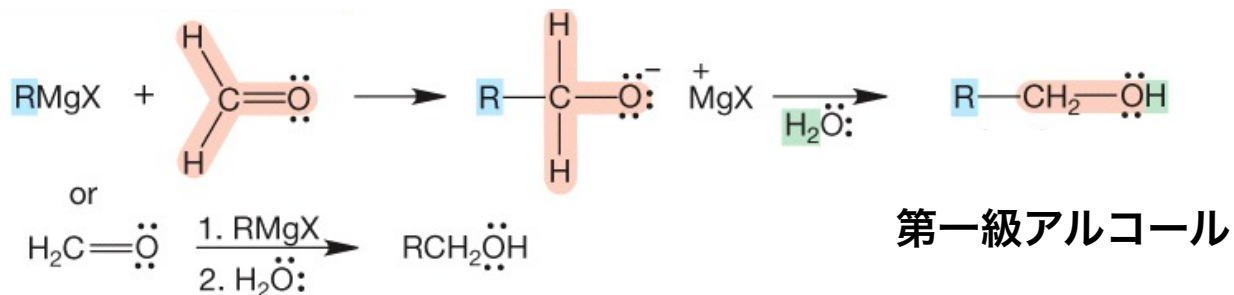




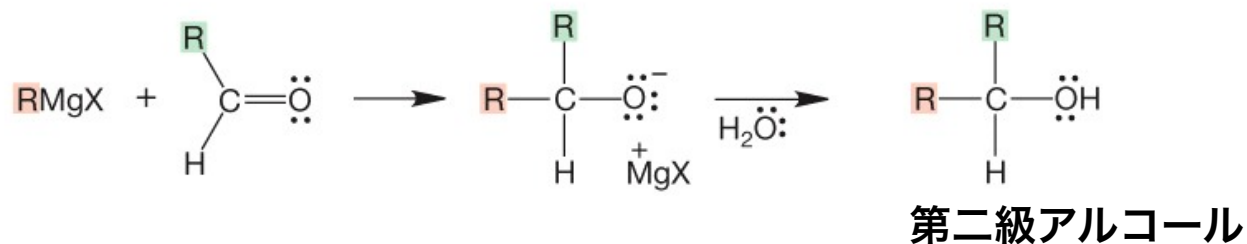
有機金属試薬との反応

グリニャール試薬との反応は色々なアルコールの合成に便利

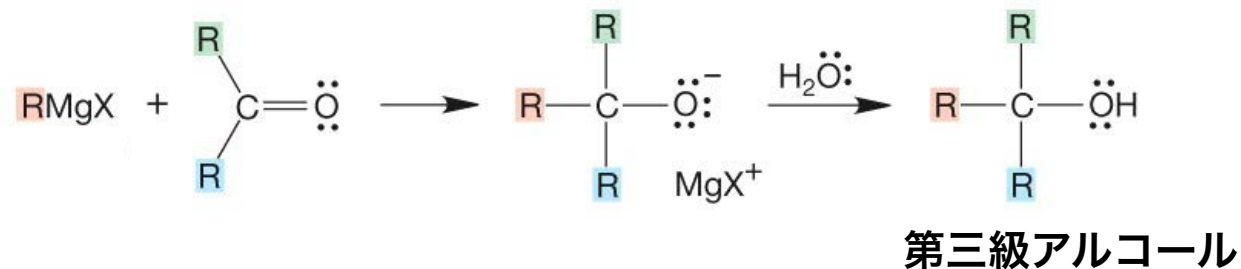
ホルムアルデヒドとの反応



アルデヒドとの反応



ケトンとの反応

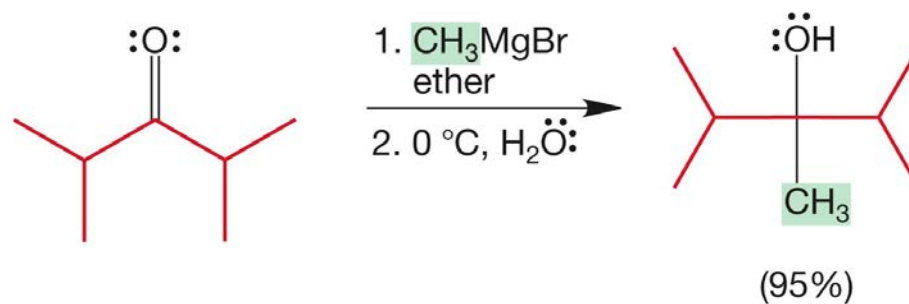
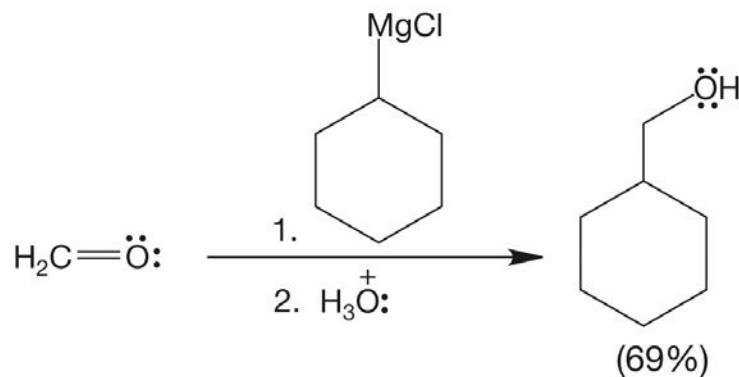
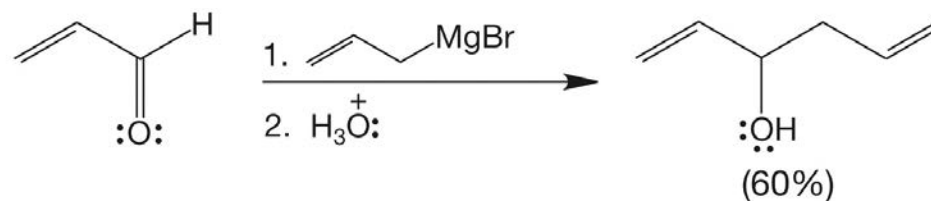




有機金属試薬との反応

グリニャール試薬との反応は色々なアルコールの合成に便利

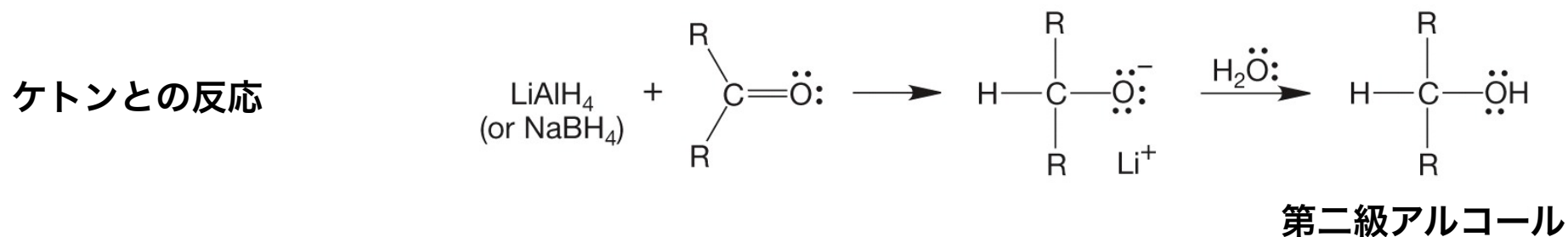
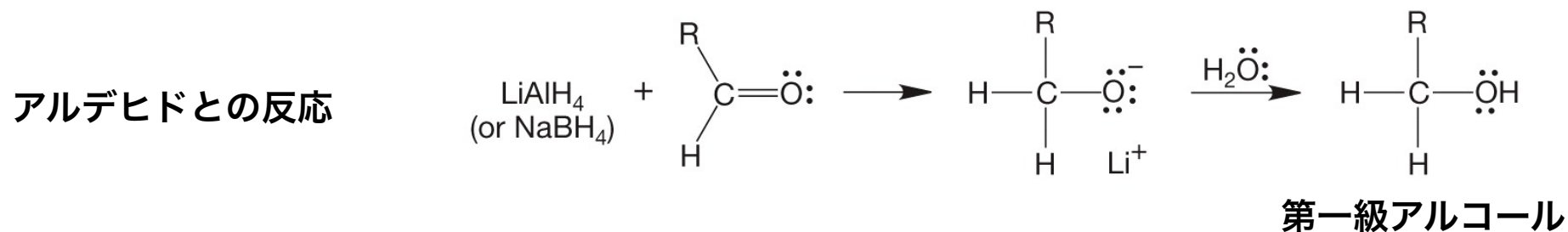
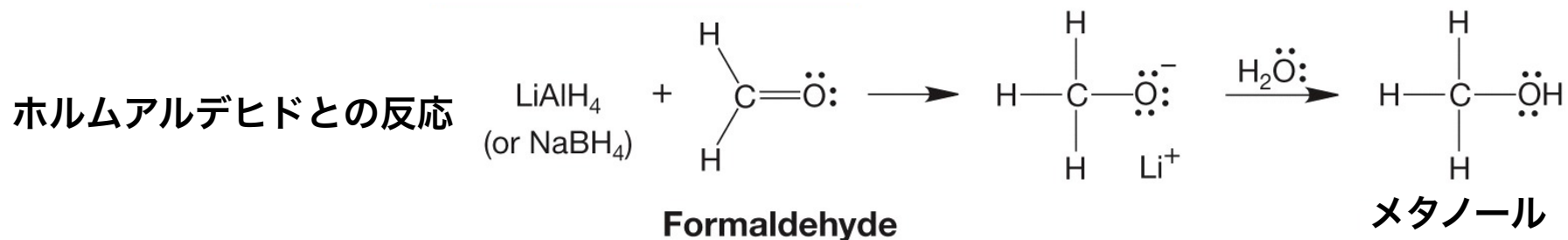
実例たち



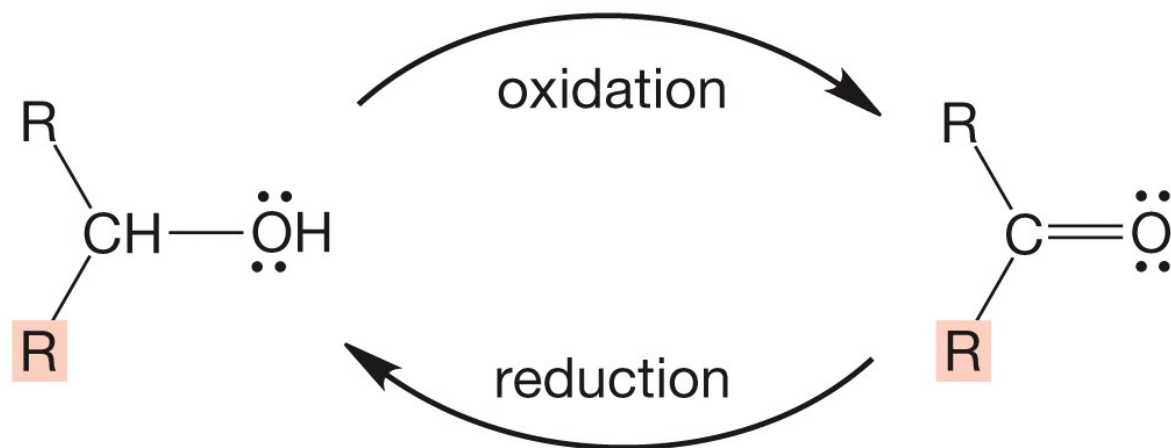
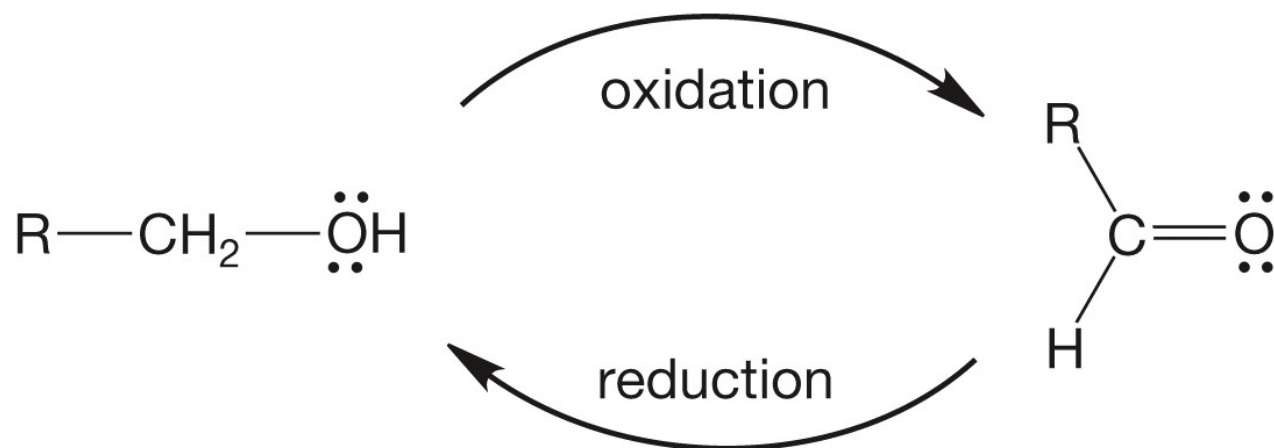


金属水素化試薬との反応（還元）

金属水素化試薬との反応でもアルコールを生成（こちらは置換基導入を伴わない還元）



★★ アルコールのカルボニル化合物への酸化



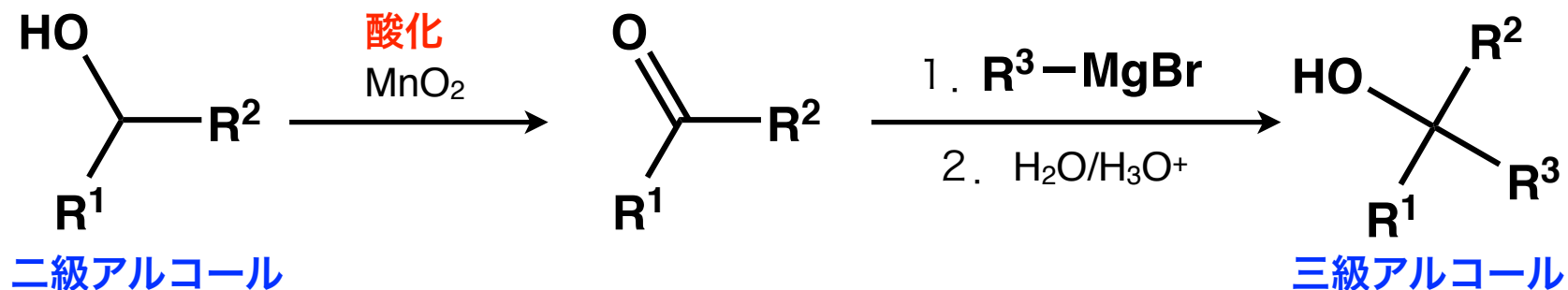
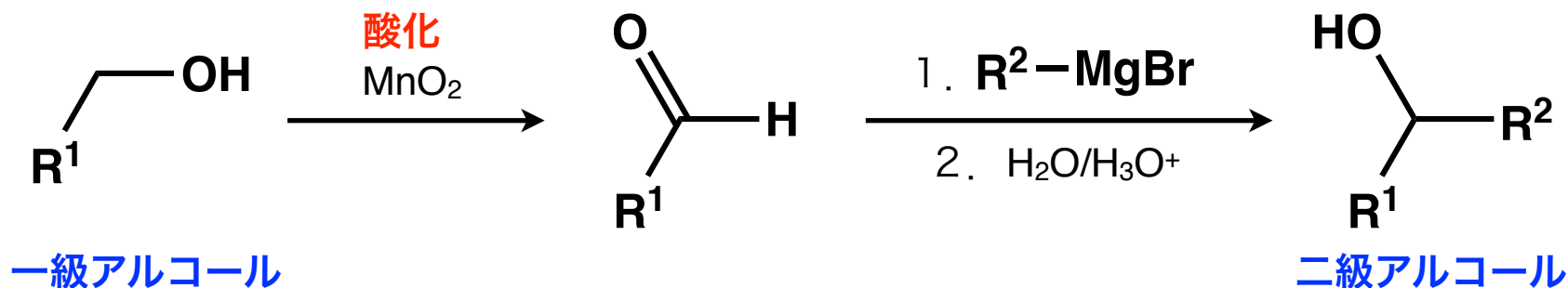
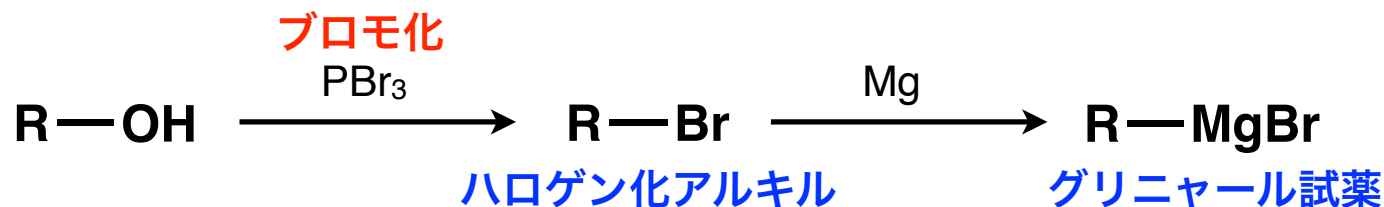
Reduction conditions: 1. LiAlH_4 (or NaBH_4)
2. H_2O

★★ アルコールのカルボニル化合物への酸化

用いる酸化剤いろいろ

- Chromium trioxide (CrO_3) in pyridine - **aldehydes**
- Sodium chromate (Na_2CrO_4) or sodium dichromate ($\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) in H_2SO_4 - **carboxylic acids**
- MnO_2 - **aldehydes**
- HNO_3 and KMnO_4 - **carboxylic acids**
- DMSO / oxalyl chloride, $(\text{COCl})_2$, "Swern oxidation" -

★★ いろんなアルコール作れるようになったね

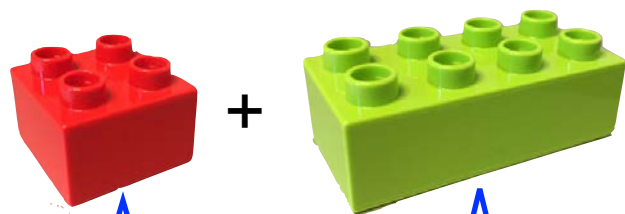


次回予告

有機（反応）化学の醍醐味

必要な化合物を、より小さく基本的なパーツ同士を、つなぎ合わせて構築する

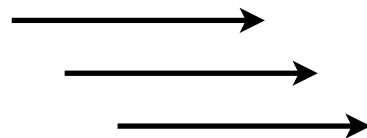
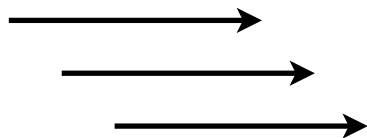
この講義で何を学ぶか？



用いるパーツの特性は？
(化合物・官能基の特性)



どうやって（なぜ）くっつくか？
(有機化学反応の原理・機構)



どんなパーツを、どんな順番で、どんなくっつけ方でくみ上げればよいか？
(合成ルート設計)