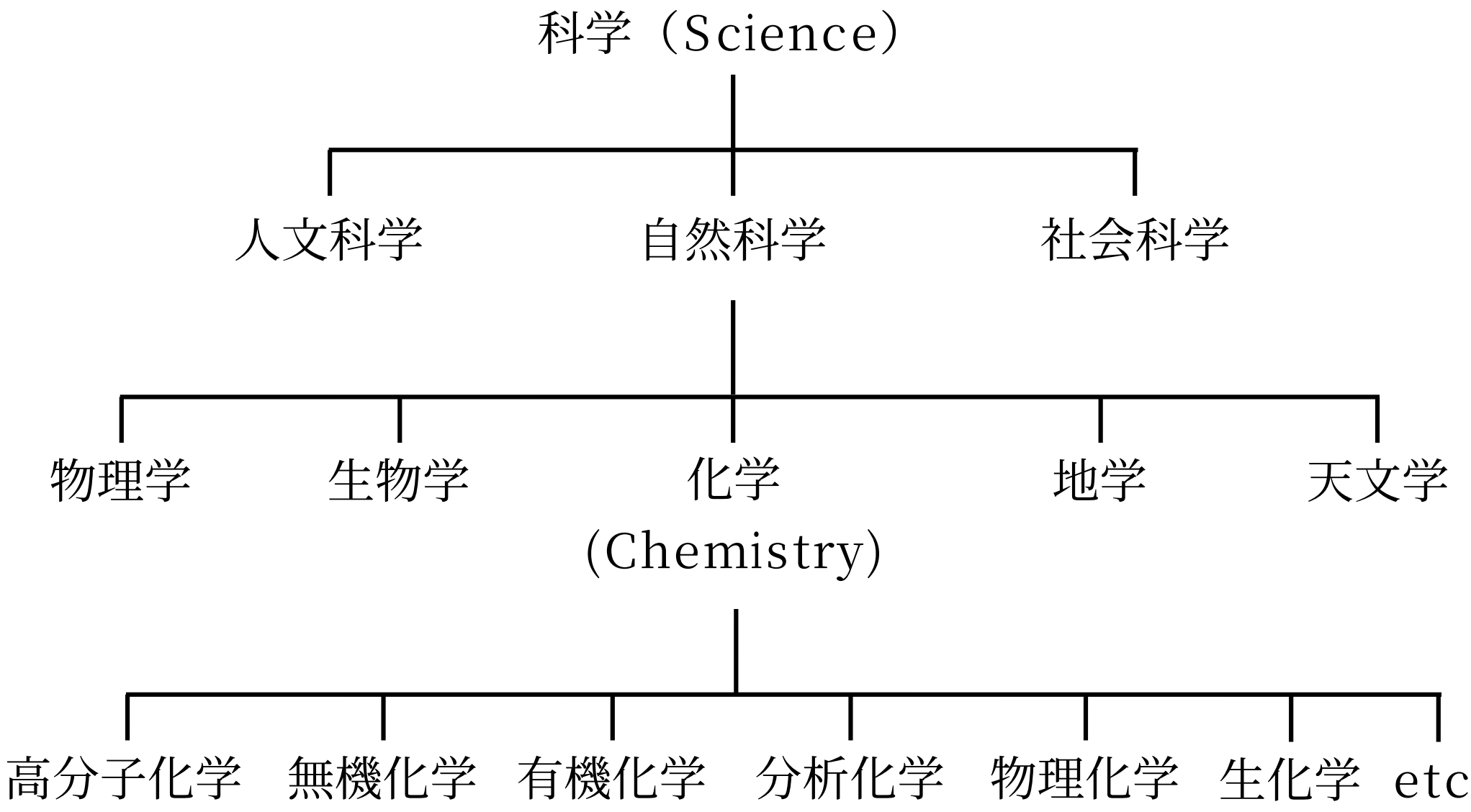
分子を創る・操る・科学する

津田　明彦

神戸大学大学院理学研究科化学専攻

E-mail: tsuda@harbor.kobe-u.ac.jp

URL: http://www2.kobe-u.ac.jp/~akihiko/index.html


科学（Science）
人文科学
自然科学
社会科学
物理学
生物学
化学
(Chemistry)
地学
天文学
高分子化学
無機化学
有機化学
分析化学
物理化学
生化学
etc.

http://www.mext.go.jp/a_menu/kagaku/week/shuki.htm

化学

すべての物質は原子からできており、またその性質は原子自身の状態や、原子同士の結びつきかた（化学結合）で決定される。化学は基本的には原子・分子レベルでの物質の構造や性質を解明し、また新しい物質や反応を構築する学問である。

主な分野

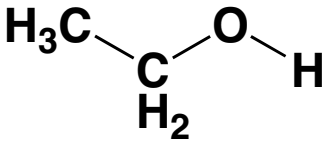
物理化学（Physical Chemistry）：物理学的な視点から化学研究を行う分野
無機化学（Inorganic Chemistry）：有機化合物を除くすべての物質を対象とする広い分野
有機化学（Organic Chemistry）：有機化合物を扱う分野
高分子化学（Polymer Chemistry）：非常に大きな分子である高分子を取り扱う分野
生化学（Biochemistry）：生命現象を化学的に研究する分野
分析化学（Analytical Chemistry）：物質を測定したり分離する技術の開発
工業化学（Industrial Chemistry）：原料を化学製品へ転換する分野

有機化学（Organic Chemistry）とは

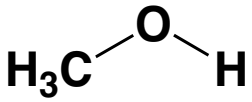
炭素（C）を基本元素とする化学

炭素（C）は特別な元素

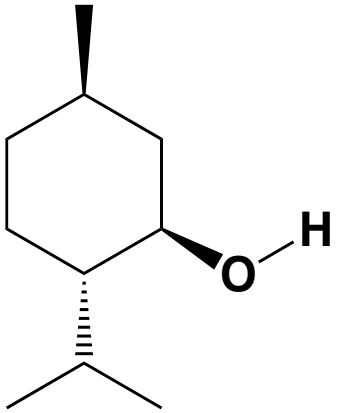
水素（H）、窒素（N）、酸素（O）などの元素と容易に結合を作ることができる。



エチルアルコール
（お酒に含まれるアルコール）

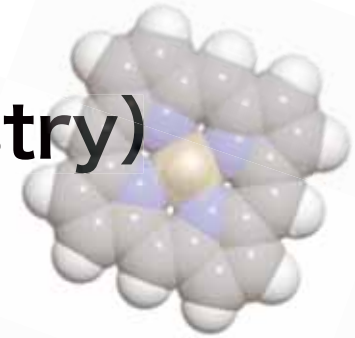


メチルアルコール
（飲むと失明することがある→目散るアルコール）

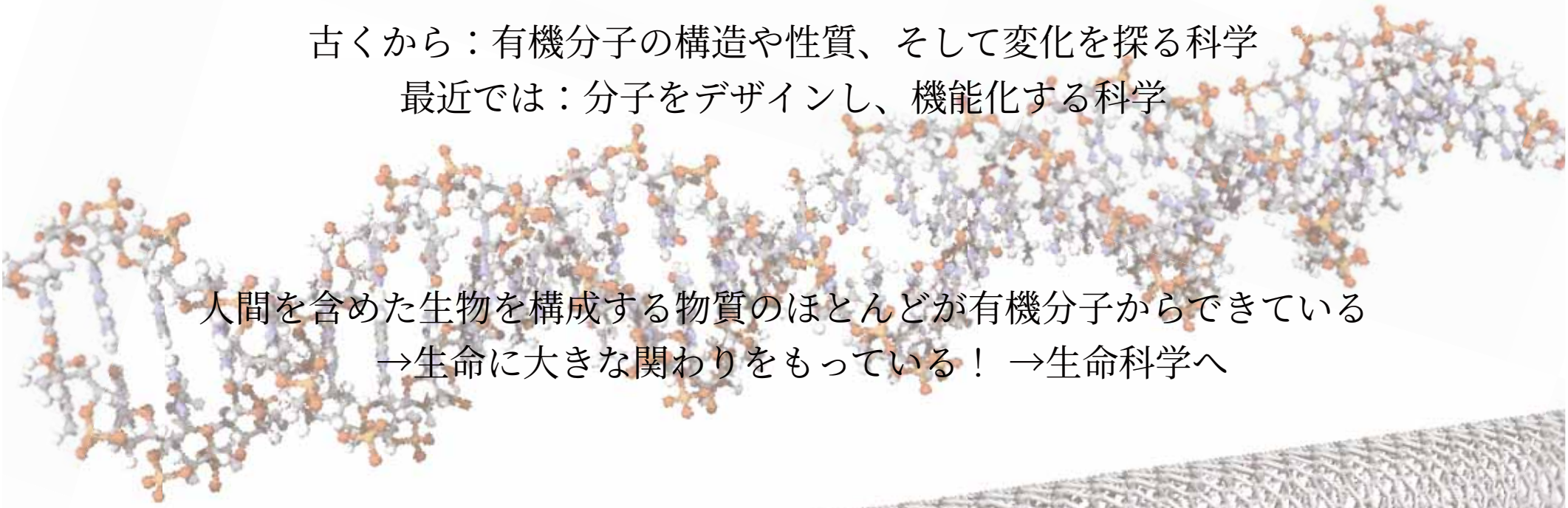


l-メントール
（歯磨きやチューインガムなどの菓子類、口中清涼剤、医薬品）

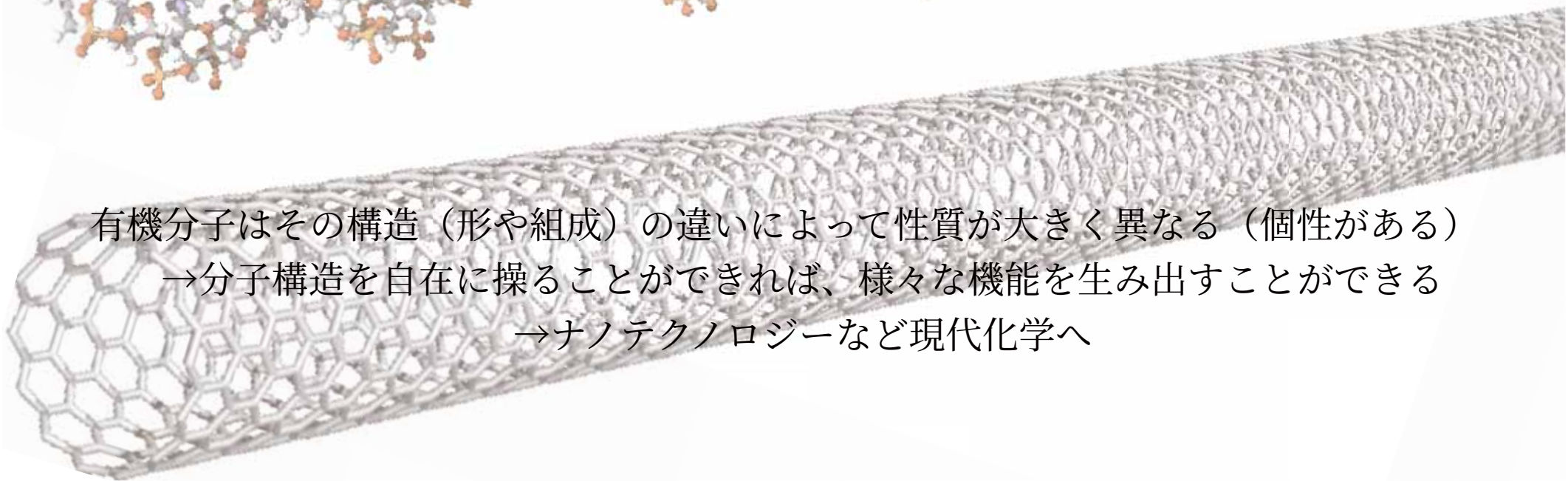
有機化学（Organic Chemistry）



古くから：有機分子の構造や性質、そして変化を探る科学
最近では：分子をデザインし、機能化する科学



人間を含めた生物を構成する物質のほとんどが有機分子からできている
→生命に大きな関わりをもっている！ →生命科学へ



有機分子はその構造（形や組成）の違いによって性質が大きく異なる（個性がある）
→分子構造を自在に操ることができれば、様々な機能を生み出すことができる
→ナノテクノロジーなど現代化学へ

暮らしと有機化学

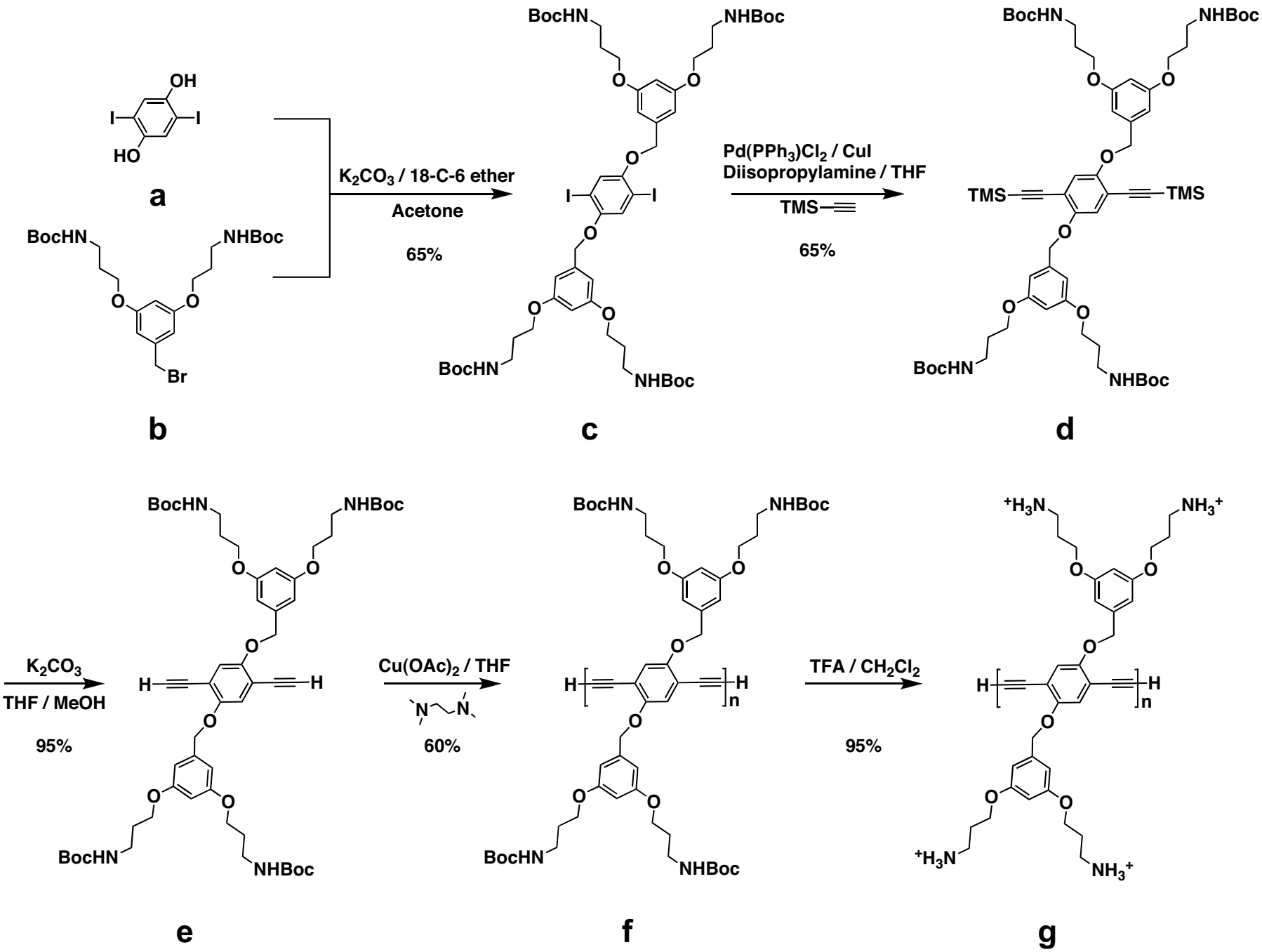
石油化学
石炭化学
染料
油脂
界面活性剤（洗剤）
接着剤
塗料
香料
医薬
化粧品
農薬
液晶
有機EL
電子ペーパー
ポリマー電池
太陽エネルギー
ナノテクノロジー
環境化学
など

分子の世界はLEGOの世界

組み立て方は
自由自在

しかし、LEGOと違って分子は電子（電気）のネットワークを持つ。
したがって組み上がったオブジェクトには秘められた機能がいっぱい！

有機合成の例

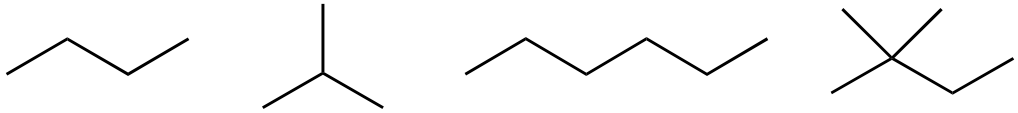

a
b
K_2CO_3 / 18-C-6 ether
Acetone
65%
c
$Pd(PPh_3)Cl_2$ / CuI
Diisopropylamine / THF
TMS
65%
d
K_2CO_3
THF / MeOH
95%
e
$Cu(OAc)_2$ / THF
60%
f
TFA / CH_2Cl_2
95%
g

暮らしと有機化学

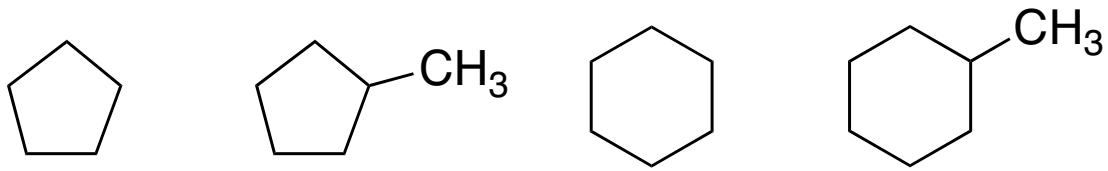
石油化学

原油：炭素数4～40程度の炭化水素の混合物

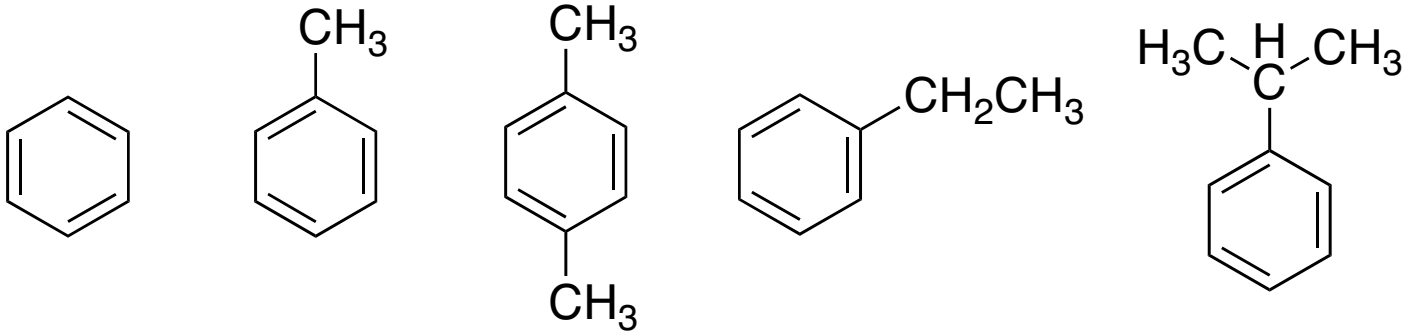
パラフィン系炭化水素



環状パラフィン系炭化水素



芳香族系系炭化水素

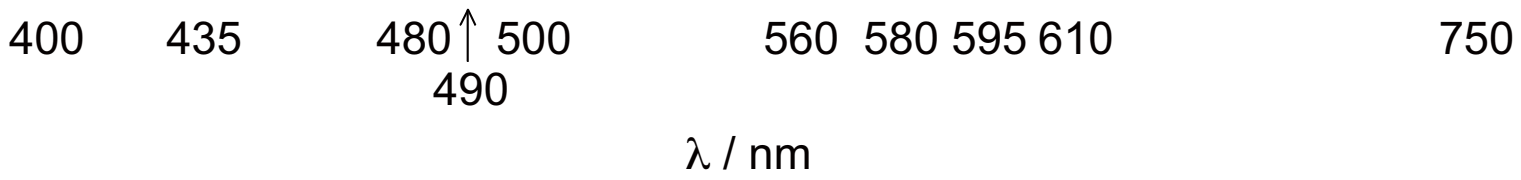


原油の分留によって、液化石油ガス(LPガス)・ガソリン・ジェット燃料・灯油・軽油・重油・潤滑油・その他（アスファルト）などに分けられる。

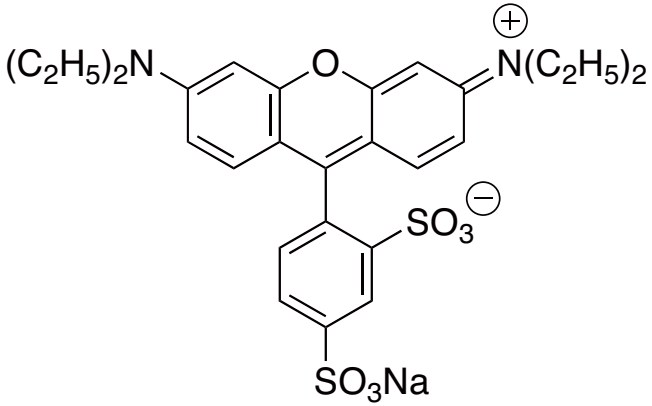
染料（色）

物質に吸収される色

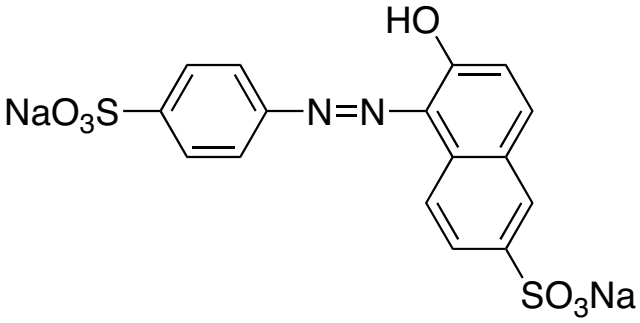
目に見える色（補色）



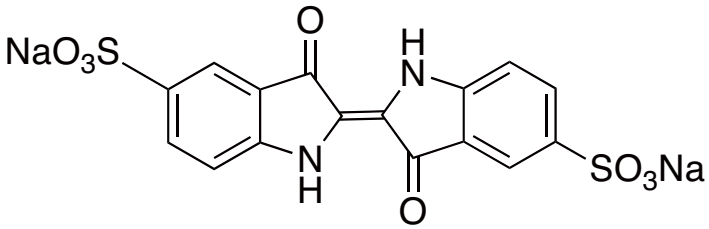
食品用色素



赤色 106号

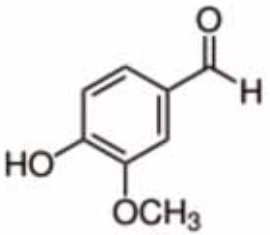


黄色 5号

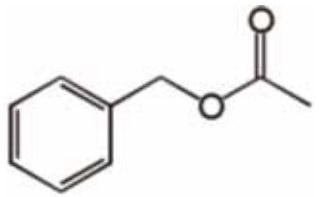


青色 2号

香料

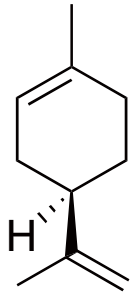


バニリン：バニラ

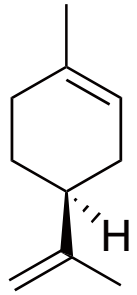


酢酸ベンジル：ジャスミン

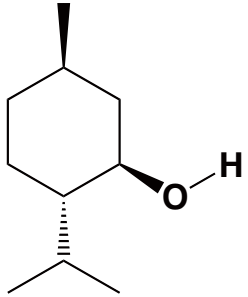
不斉（キラリティー）を持つ分子右手と左手の分子では臭いが異なる！



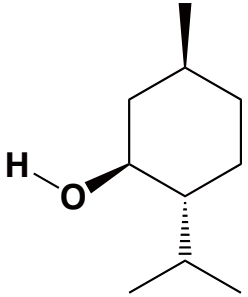
(R)-リモネン
オレンジ



(S)-リモネン
レモン

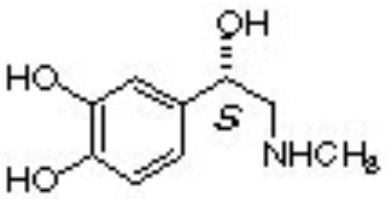


(ー)-メントール
ハッカ臭

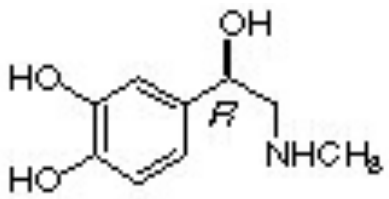


(+)-メントール
不快臭

不斉化合物



(S)-(−)-adrenalin



(R)-(−)-adrenalin

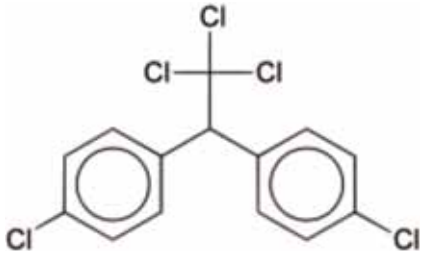
アドレナリン(adrenalin)
副腎皮質ホルモンで交感神経興奮作用を示すが(S)-体の法が(R)-体よりも１５倍ほど活性が高い

人間など自然界は一方のキラリティーに偏っている（ホモキラリティー）。
したがって、薬などの効き目もキラリティーで異なる。

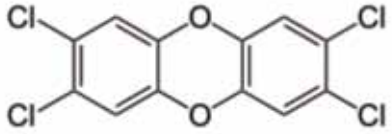
環境化学

・グリーンケミストリー：化学製品の生産から廃棄までの全ライフサイクルにおいて生態系に与える影響を最小限にし、且つ経済的効率性を向上させようとする次世代の化学

・水素吸蔵、太陽電池、電子ペーパーの開発など

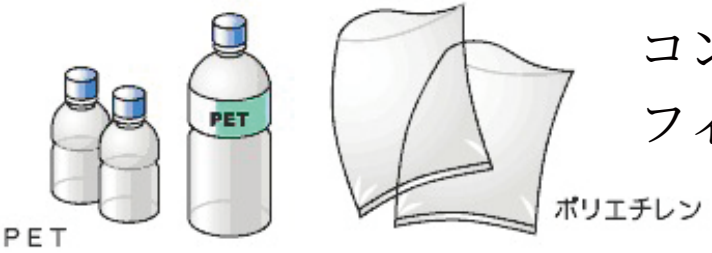


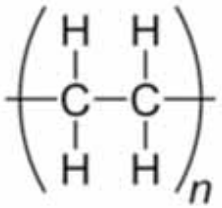
ジクロロフェニルトリクロロエタン（DDT)
・殺虫剤や農薬、マラリア予防
・アメリカの野生ワニなどで環境ホルモン作用が疑われたため問題視
（日本国内において製造・使用が禁止）



2,3,7,8-テトラクロロジベンゾ-1,4-ジオキシン(TCDD)
ごみの焼却などによる燃焼や薬品類の合成に際して、意図しない副生成物として生じる。
ダイオキシンが有毒であるという根拠が科学的ではないとする論議もある。しかし、感受性の最も高いモルモットの半数致死量は600ng/kgであるのに対してハムスターでは5,000,000ng/kgである。

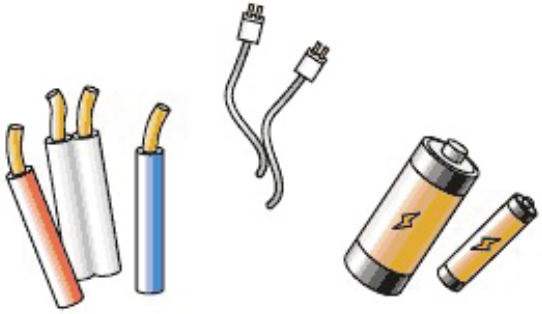
暮らしと有機化学

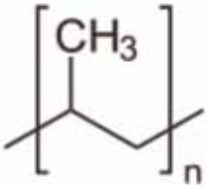




ポリエチレン

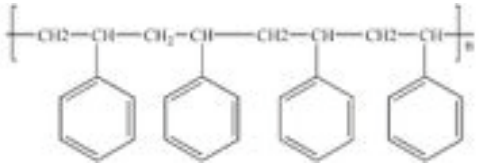
コンテナー、日用雑貨、容器、ショッピングバッグ、レジ袋、フィルム、ロープ、シート、パイプ、電線被覆、チューブなど





ポリプロピレン

自動車部品、医療用途（器具、容器、医薬包装）、家電製品、容器ボトルキャップ、食品カップ、フィルム、繊維

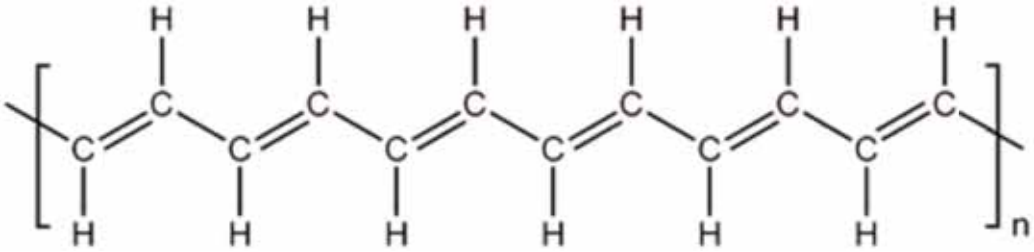


ポリスチレン

プラスチックであり、非晶性のポリマーで。日用品やプラモデルの素材として広く用いられている。断熱容器・建築材料・プラ板

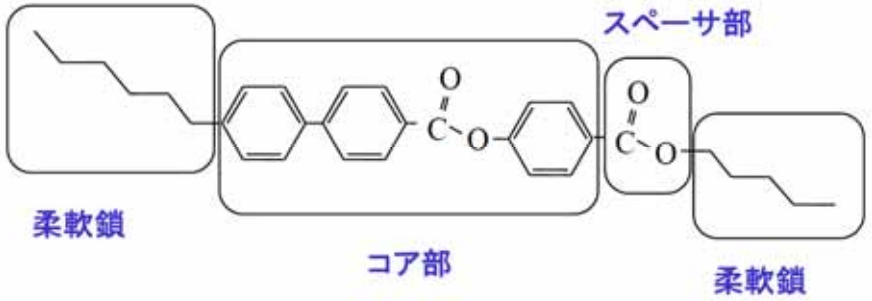
電気を流す高分子

ノーベル化学賞　白川英樹博士



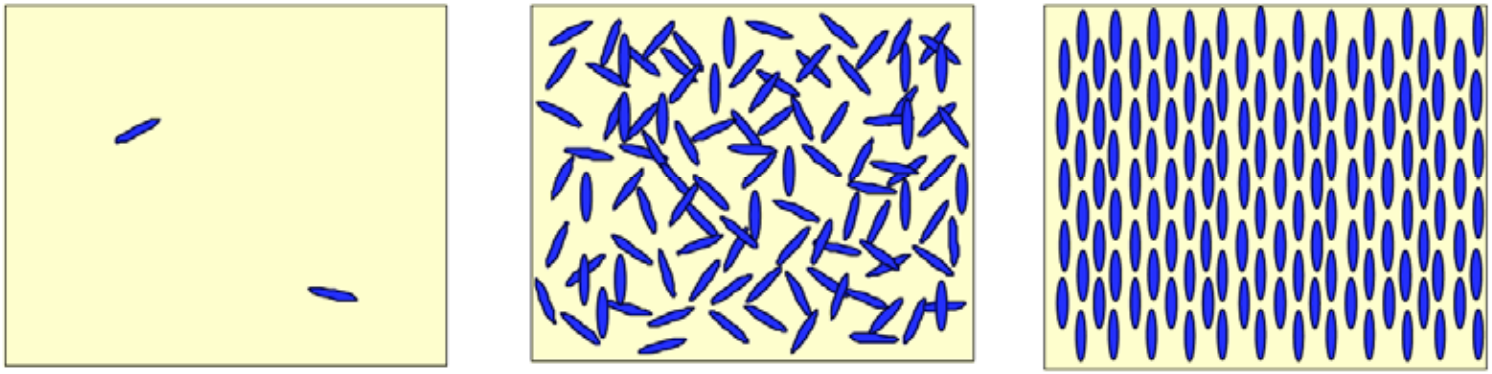
ポリアセチレン

タッチパネルの表面、静電気を帯びない写真フィルム、
電磁波を防ぐコンピューター用のスクリーンなど



液晶　　固体（結晶）と液体の中間状態

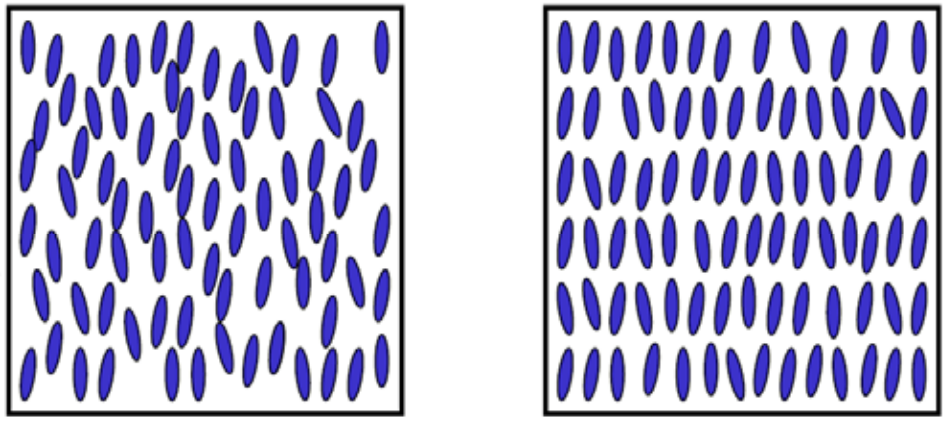
密度　　流動性　対称性



気体　　液体　　固体(結晶)

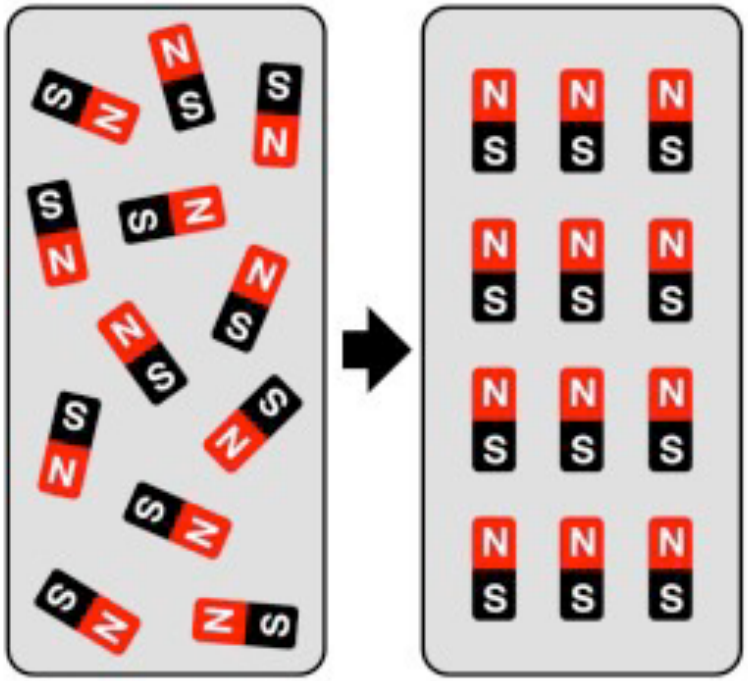
物質の3態

位置（重心）の秩序なし
　流動性
方向の秩序あり
　異方性

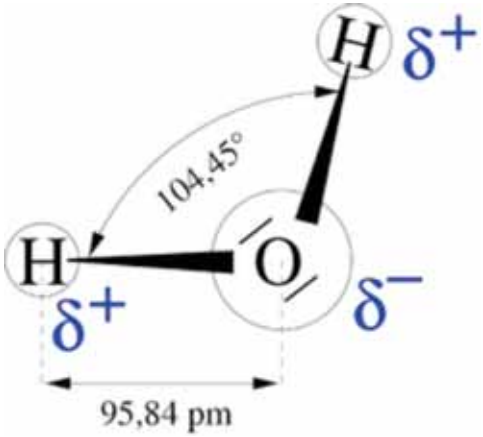


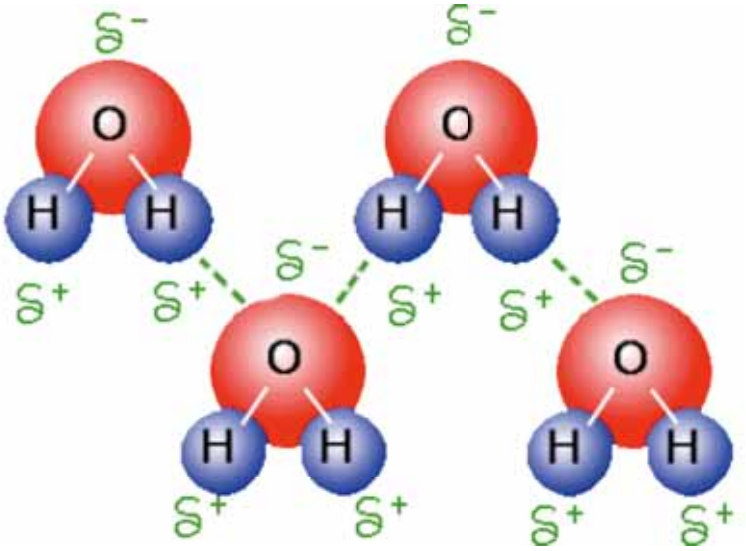
ネマチック液晶　　スメクチック液晶

磁石

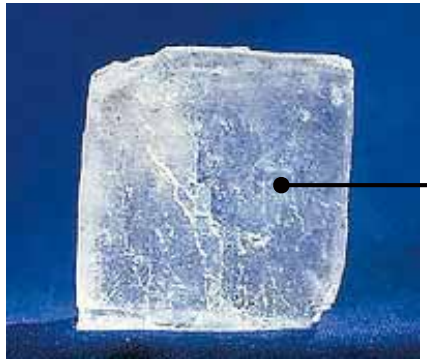


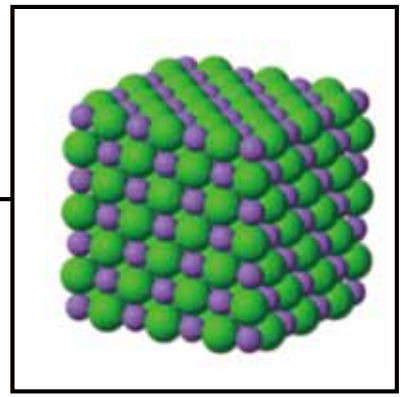
水　H_2O

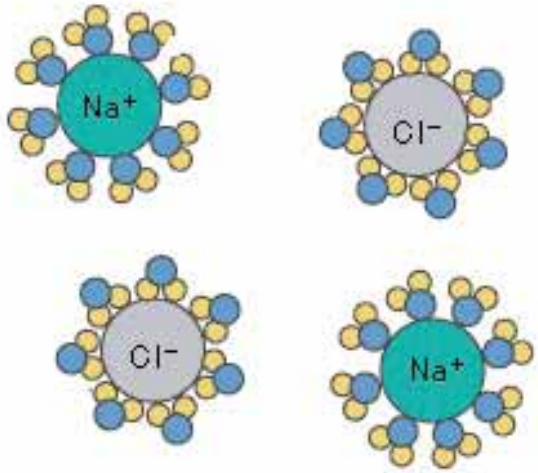




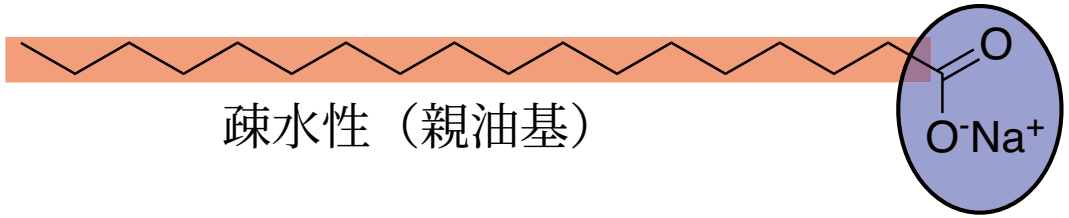
$$NaCl \xrightarrow[\text{水}]{} Na^+ + Cl^-$$







洗剤（界面活性剤）

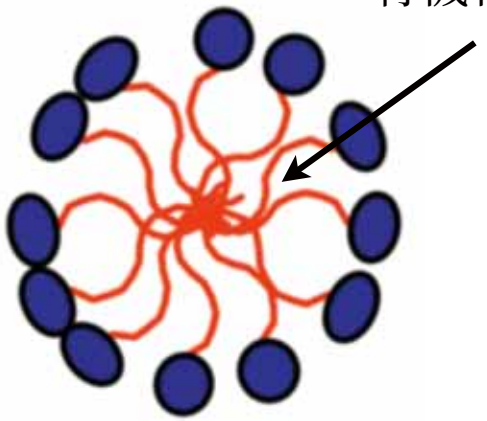


疎水性（親油基）

親水性

水の中で分子が凝集する

有機物質が中に取り込まれる！

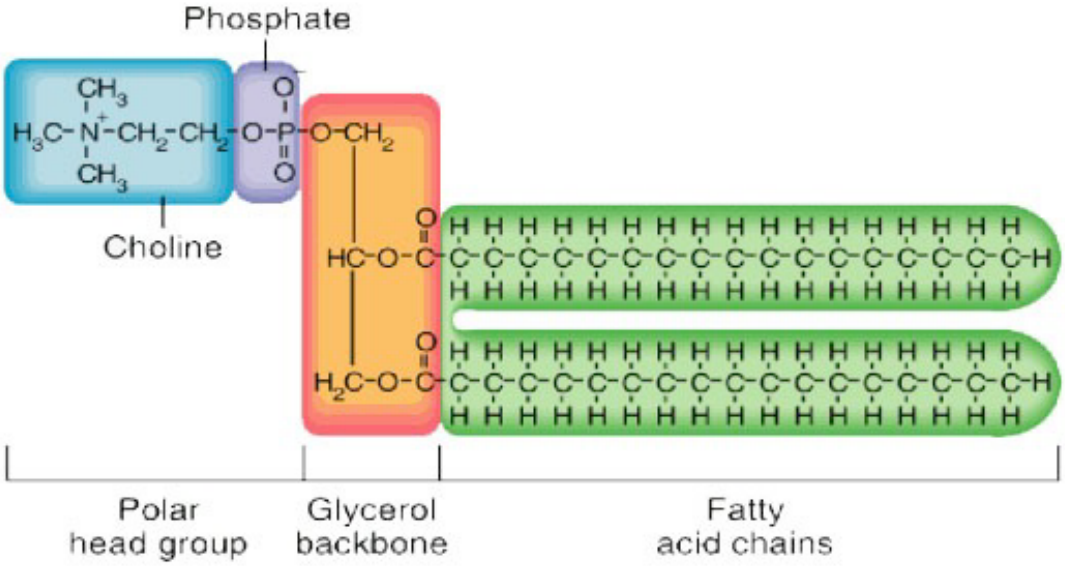


ミセル

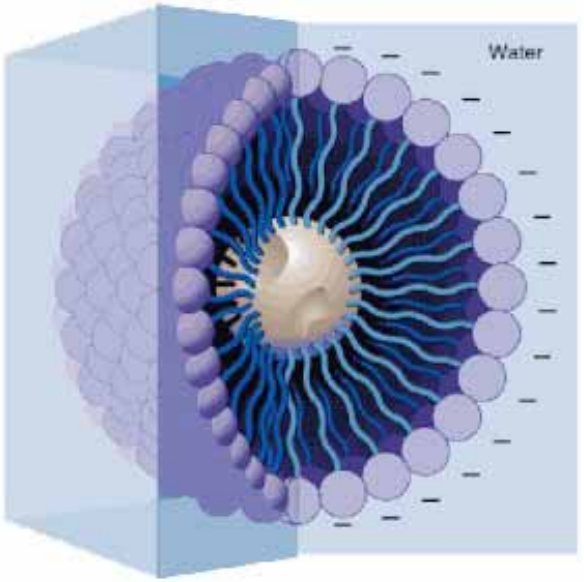
Micelle

Phosphate on third -OH group of glycerol have a polar head increased hydrophilicity - can form spheroid structures called micelles

Phospholipid



Micelle



ゲル

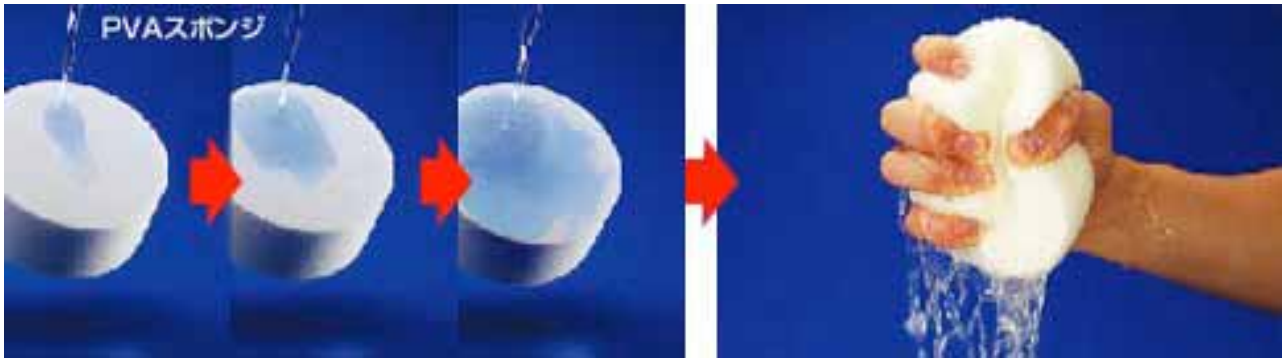
ナノスケールの繊維が網目状のネットワークを形成し、水や有機溶媒などを保持した物質
水を吸ったスポンジのようなもの

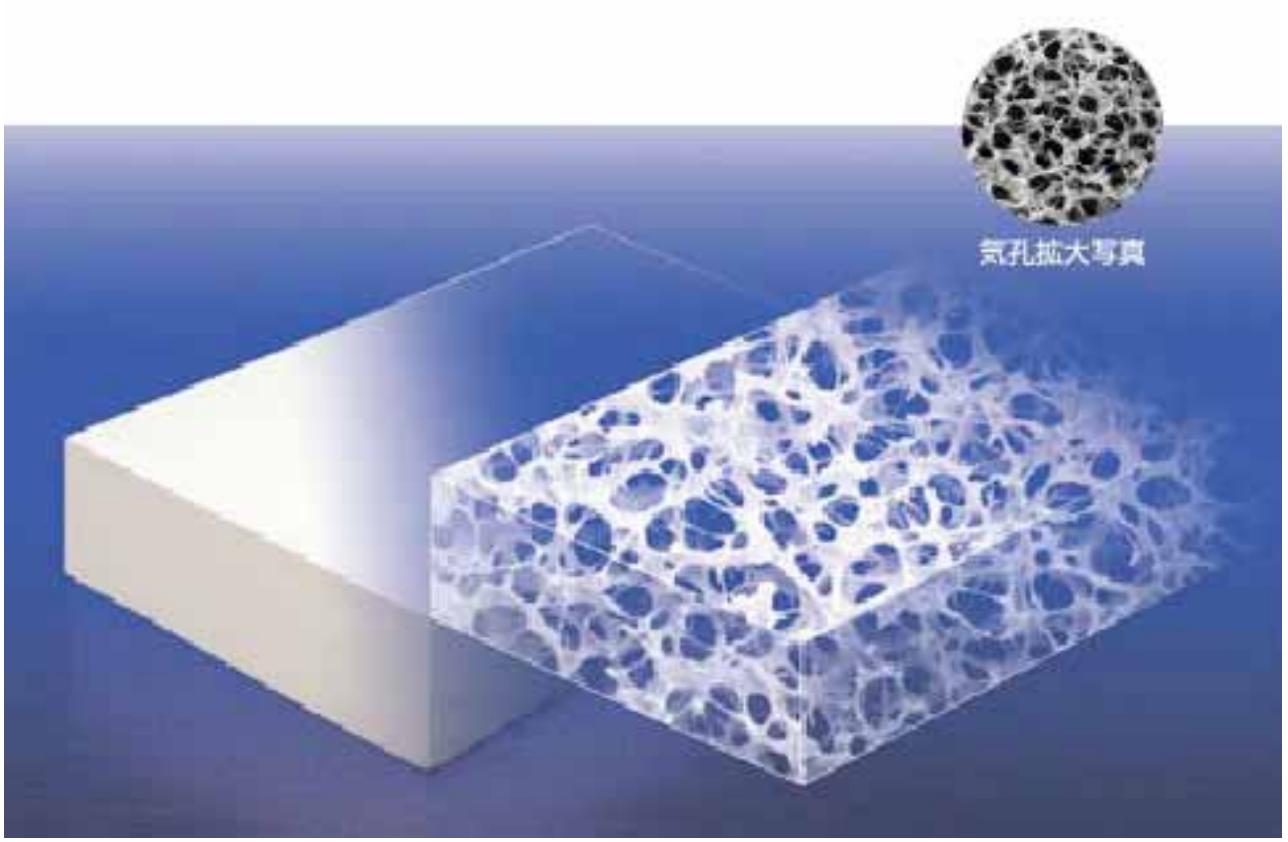
ゲルは自分の重さの１０００倍もの水を吸収することができる。

・ゲルの例
紙おむつ、芳香剤、ソフトコンタクトレンズ、コンニャク、豆腐、ゼリー、　生体軟組織（角膜、水晶体、筋肉、血管など）

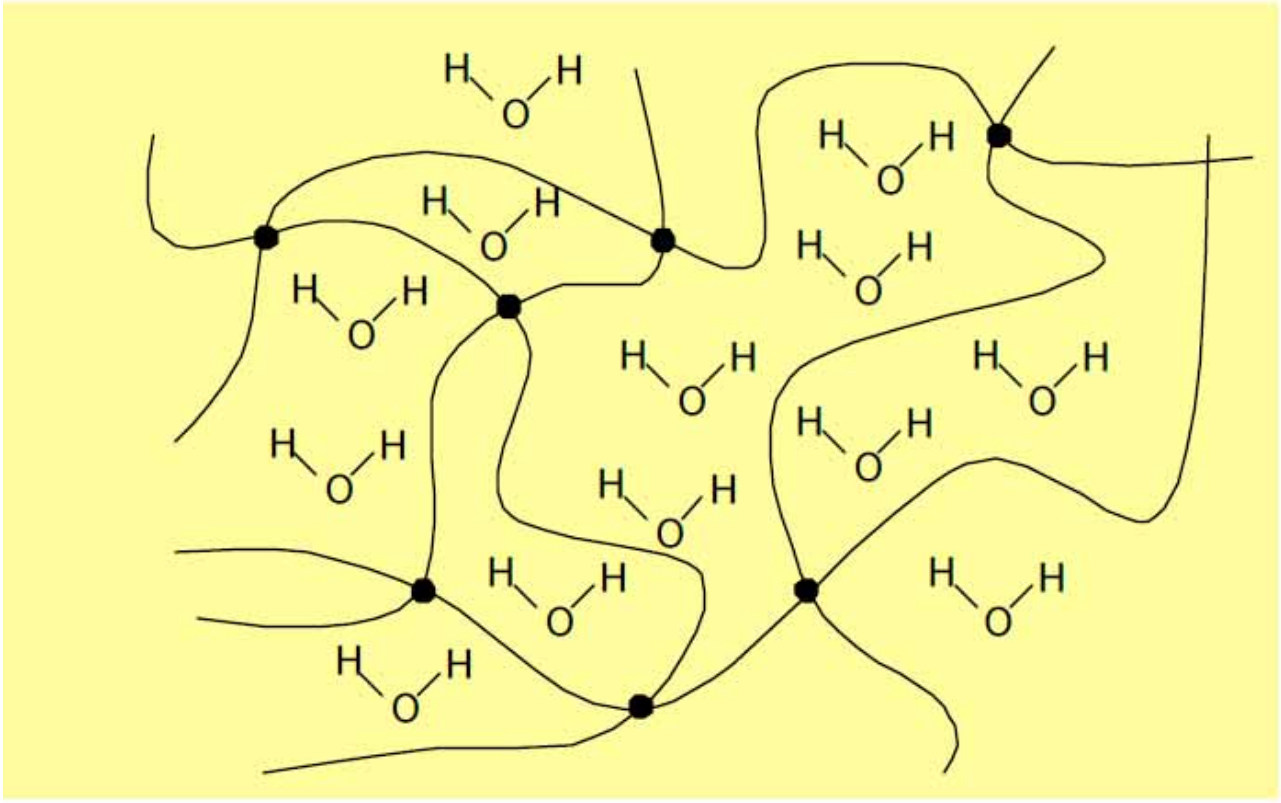
・ゲルの定義
高分子が架橋して３次元網目構造を持ち、溶媒中で溶媒を吸収して膨潤はするが溶解はしない、固体と液体の中間に属する状態をとる物質。

スポンジ



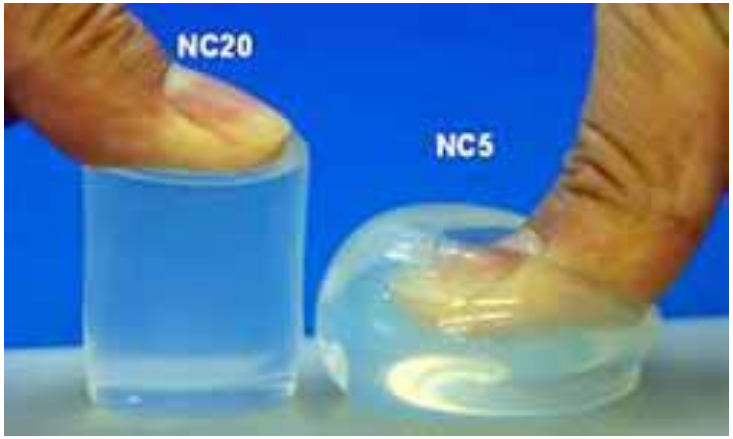


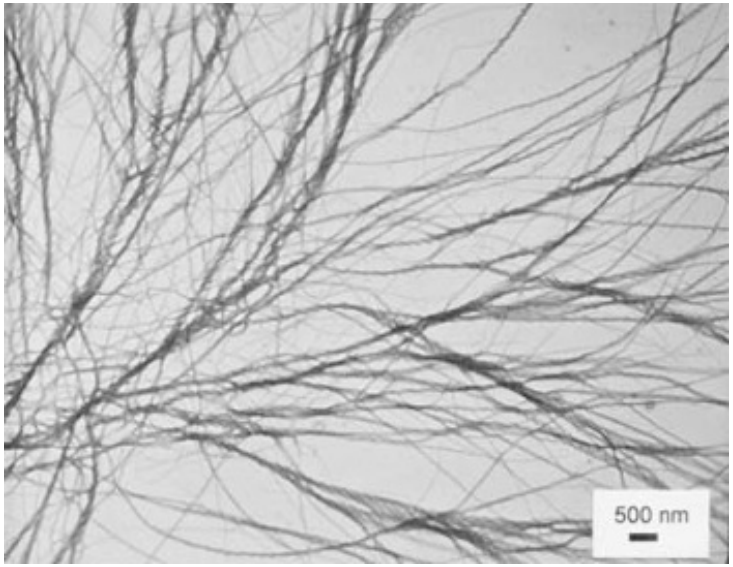
ヒドロゲル



網目構造をした分子の網目の中に溶媒が含まれた構造

ゲルになる条件：　①網目構造を持つ
②溶媒と親和性がよい



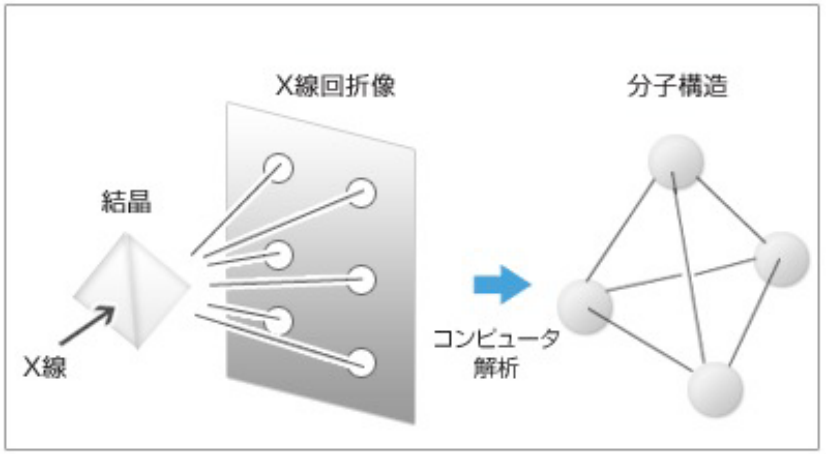


ナノテクノロジー

ナノテクノロジー (nanotechnology) は、物質をナノメートル (1 nm = 10^{-9}m) の領域において、自在に制御する技術。

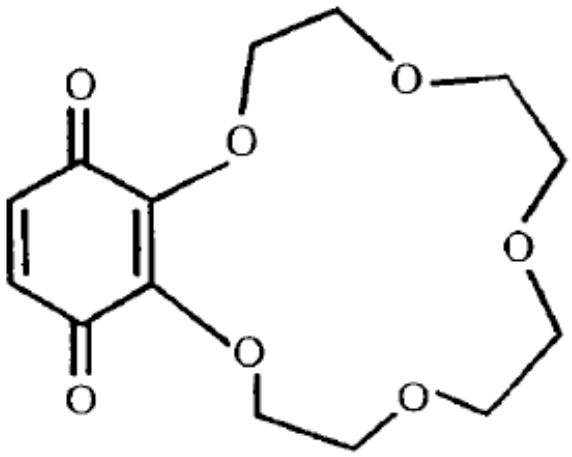
分子を観る
―― X線結晶構造解析 ――

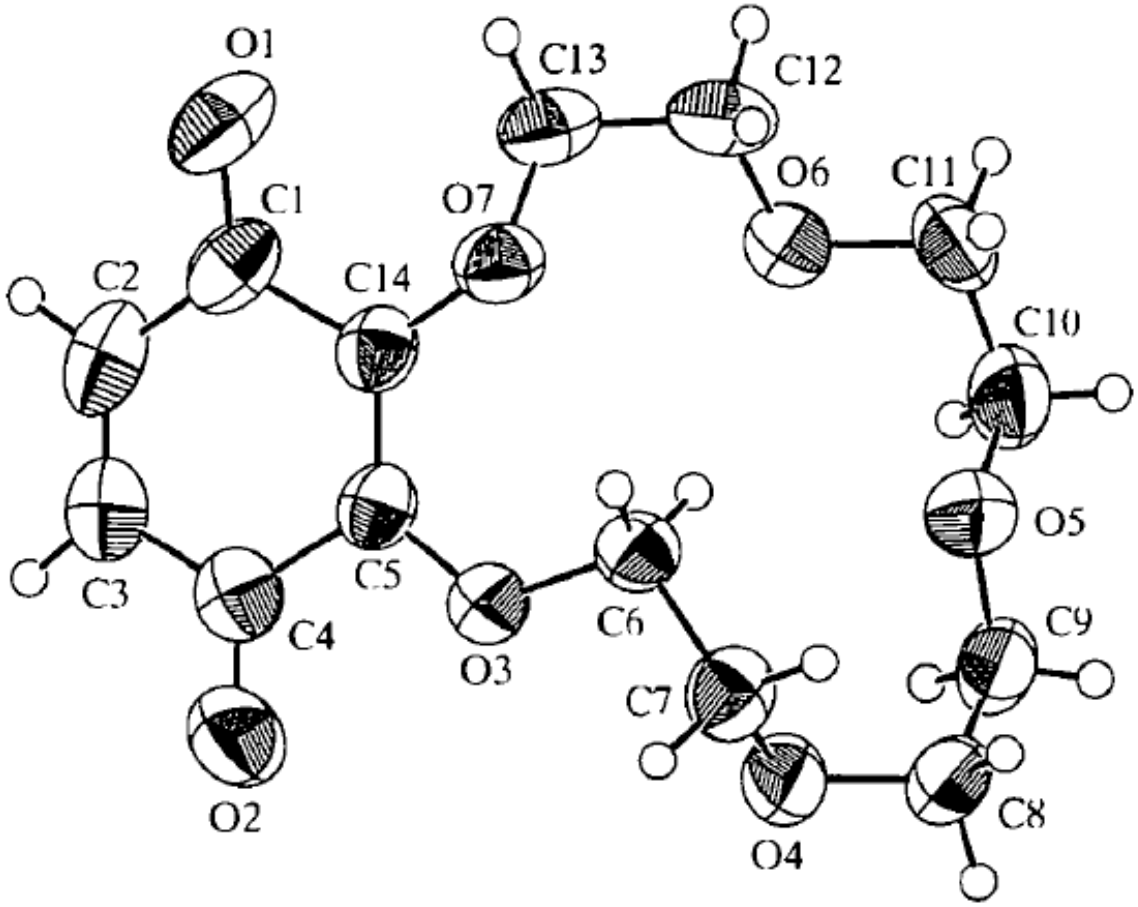
X線回折法



分子を観る

—— X線結晶構造解析 ——



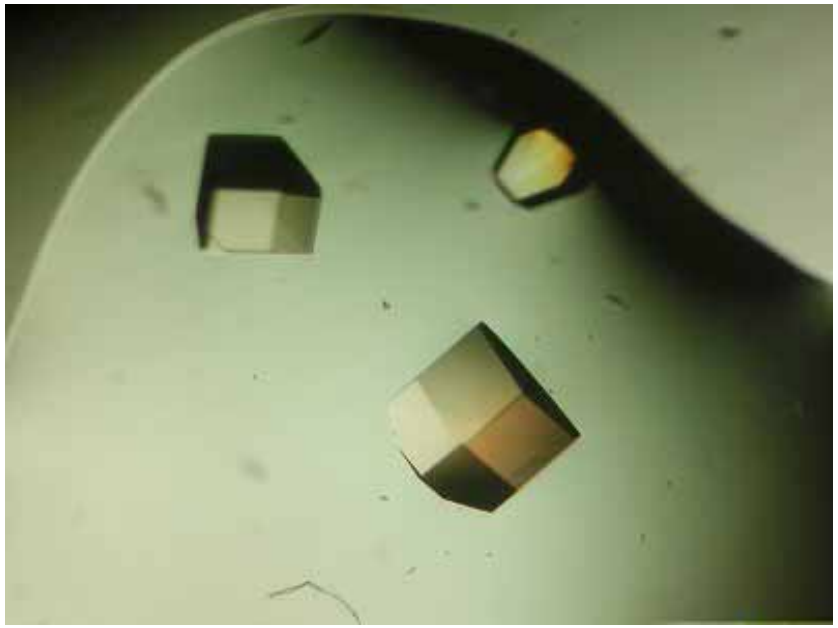


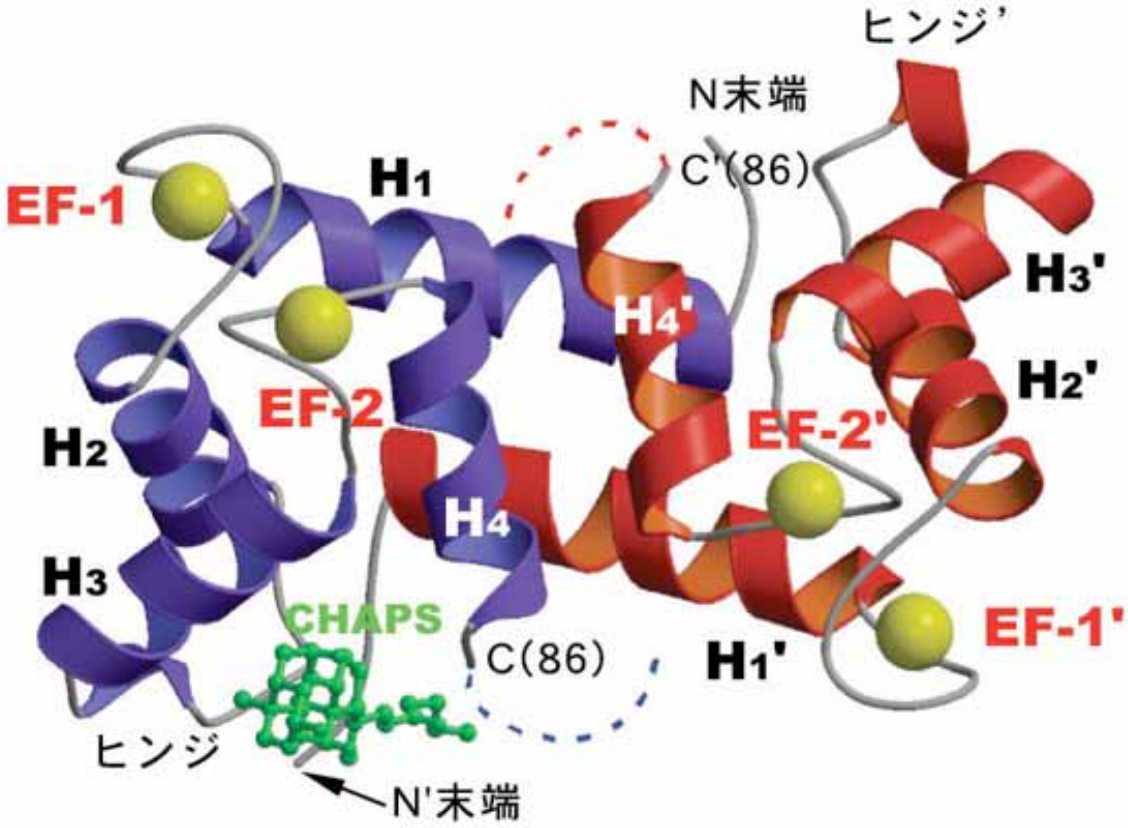
A. Tsuda, T. Kawamoto, T. Oshima, *Acta Cryst.* (1998). *C54*, 1362–1364

分子を観る

―― X線結晶構造解析 ――

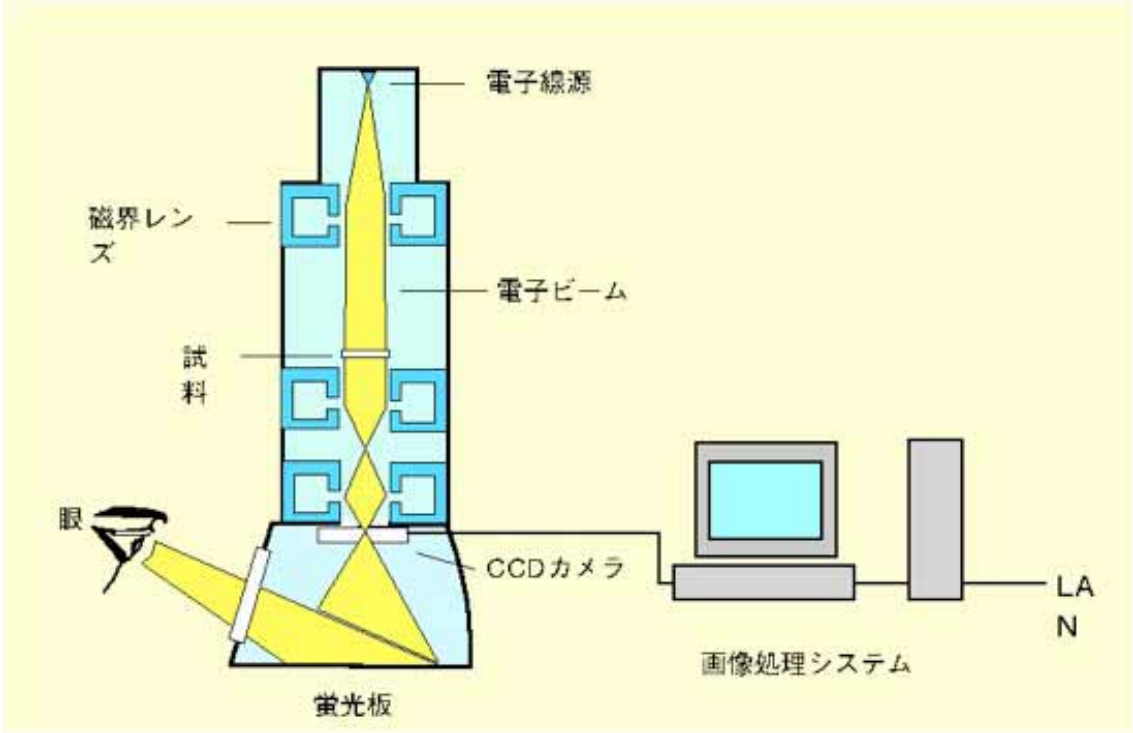
タンパク質





分子を観る
—— 透過型電子顕微鏡写真（TEM）——

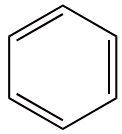
透過型電子顕微鏡写真（TEM）



中村 栄一（東京大学大学院理学系研究科化学専攻 教授／科学技術振興機構 戦略的創造研究推進事業 総括実施型研究 ERATO中村活性炭素クラスタープロジェクト）

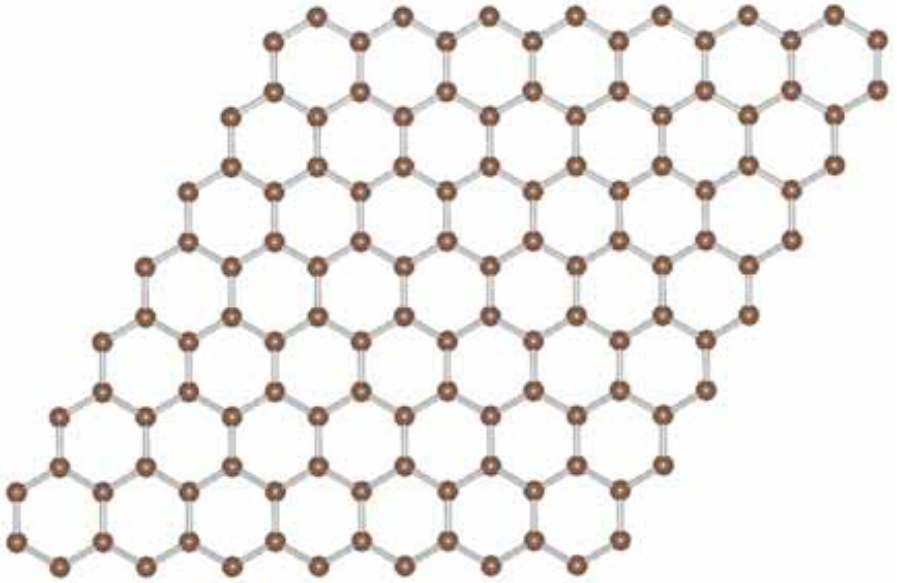
フラーレン・グラフェン・カーボンナノチューブ

・互いに結合して環構造、球構造、長い鎖（ポリマー）などを形成する能力を持つ。

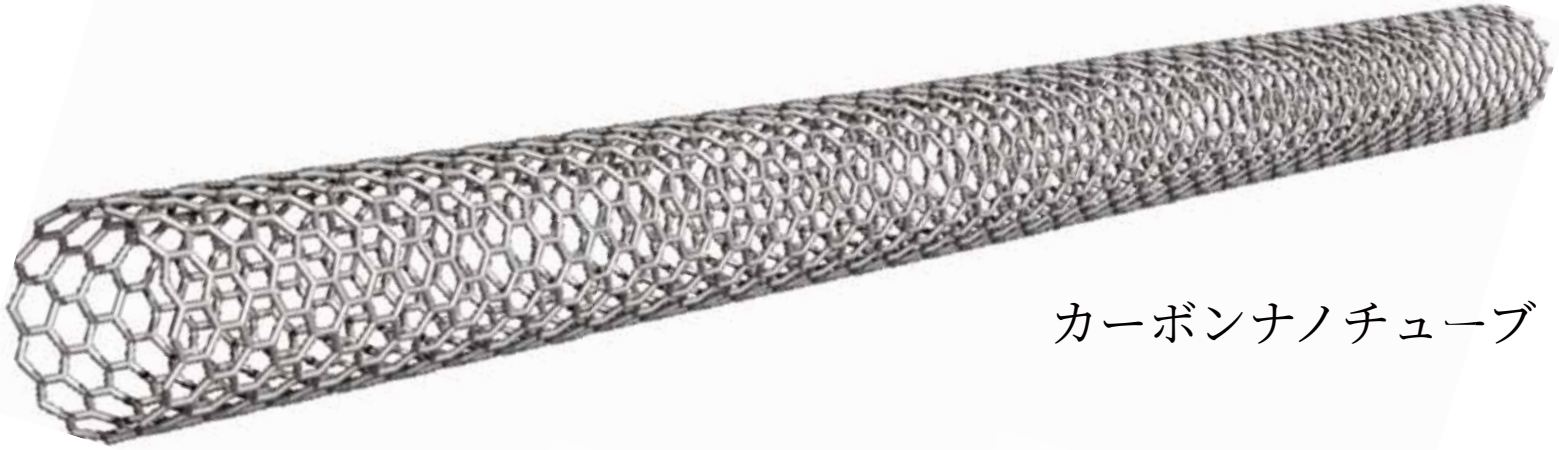


ベンゼン

フラーレン（C_{60}）



グラフェン

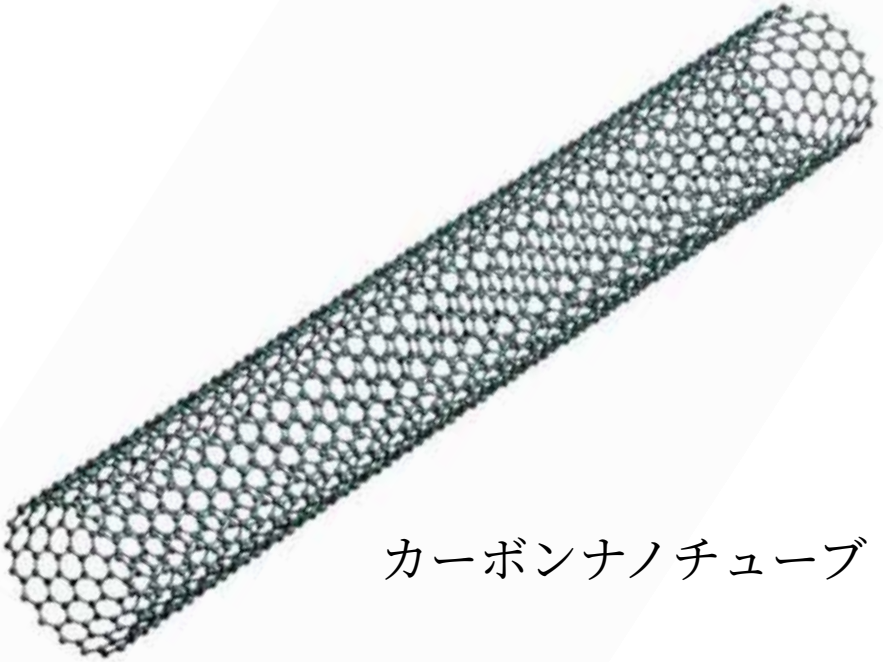


カーボンナノチューブ

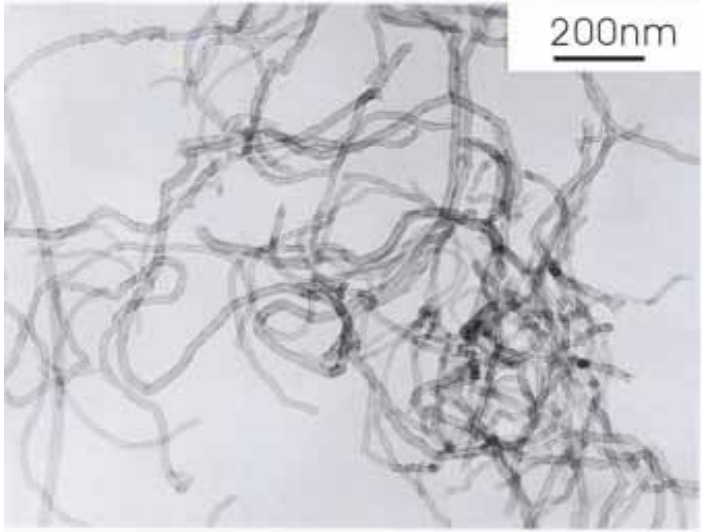
フラーレン・カーボンナノチューブ

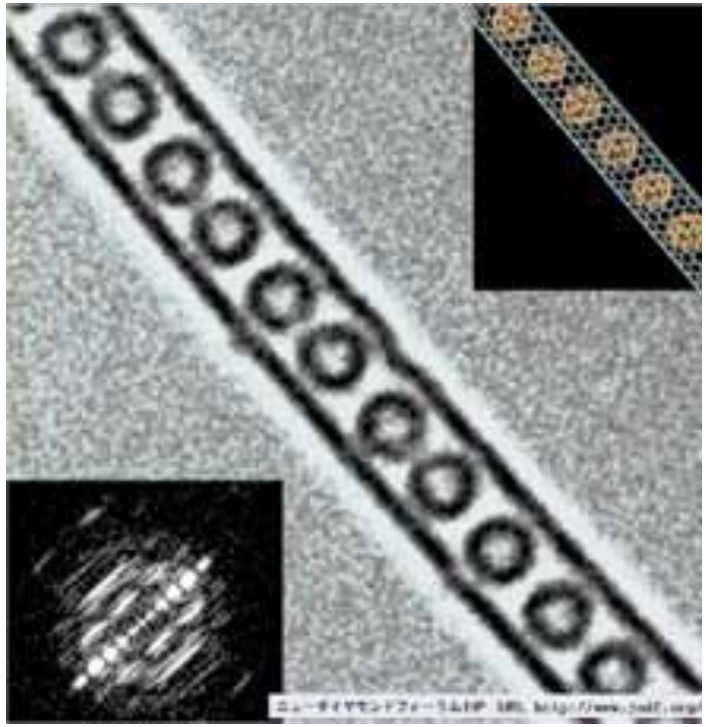
・互いに結合して環構造、球構造、長い鎖（ポリマー）などを形成する能力を持つ。

フラーレン（C_{60}）



カーボンナノチューブ





グラフェン（Graphene）

透過型電子顕微鏡写真

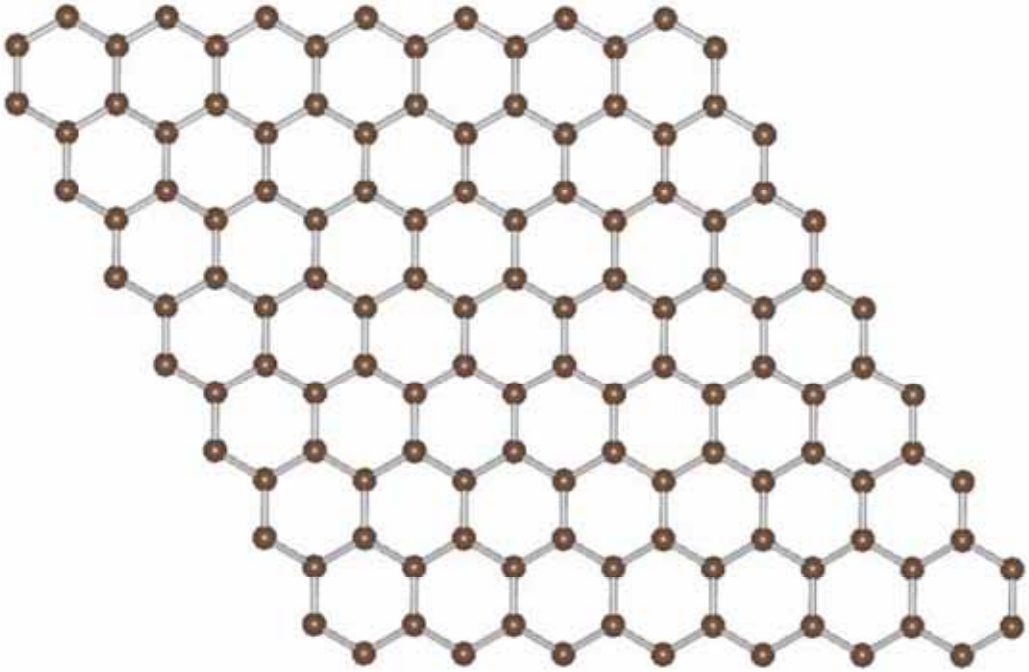
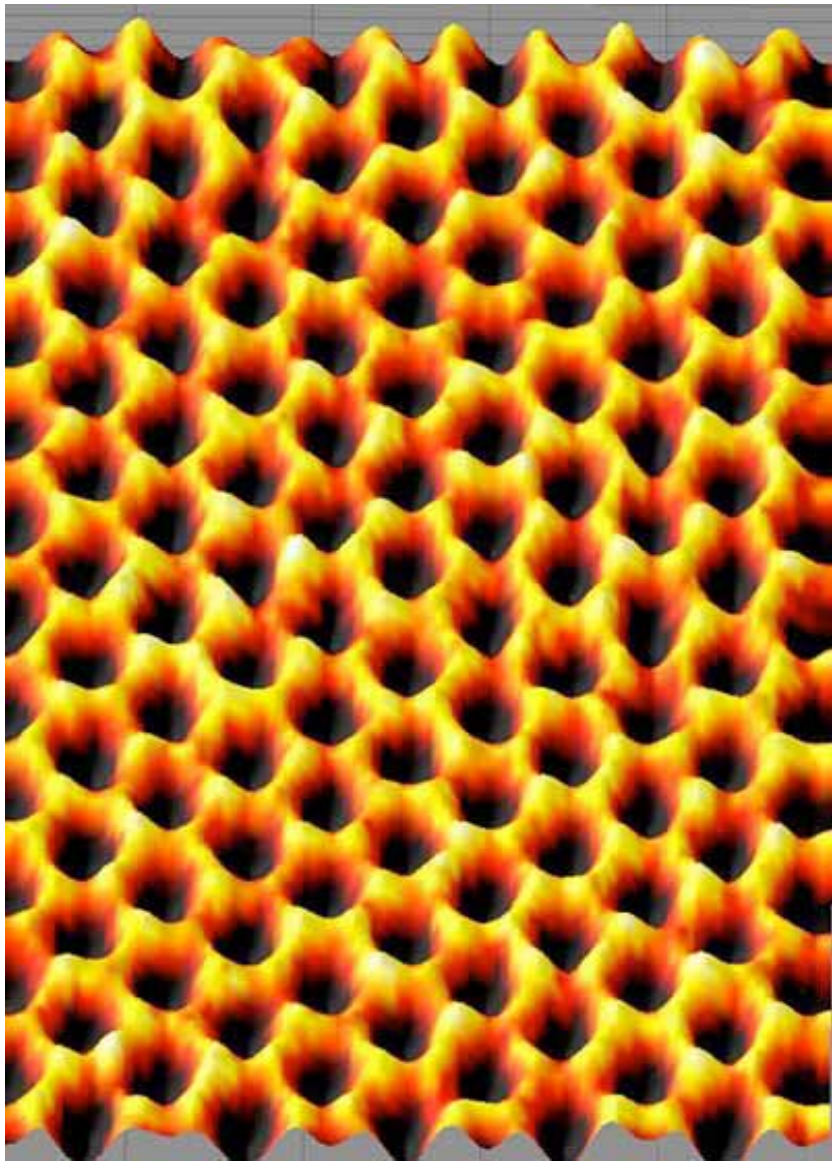
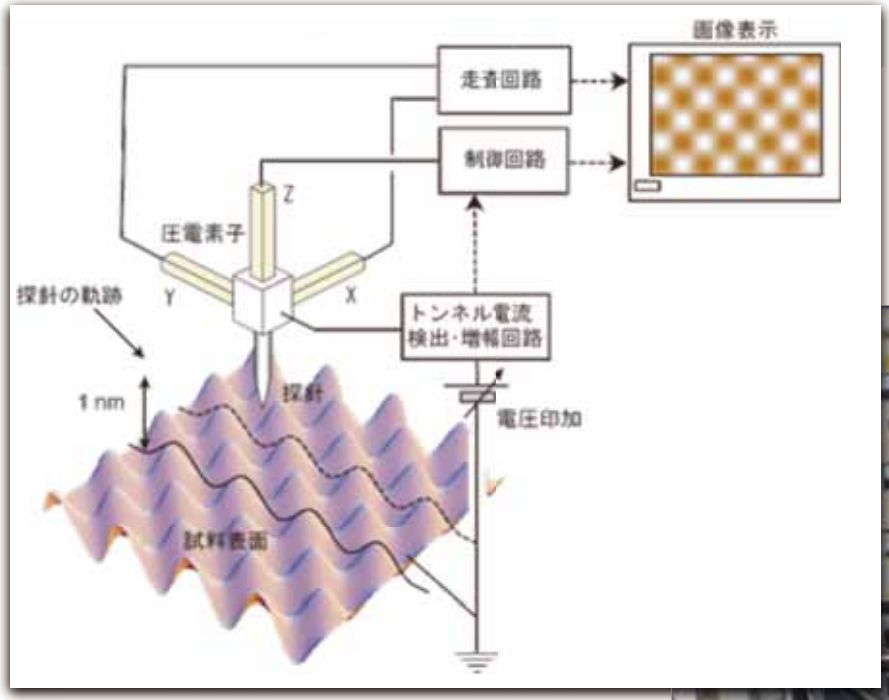
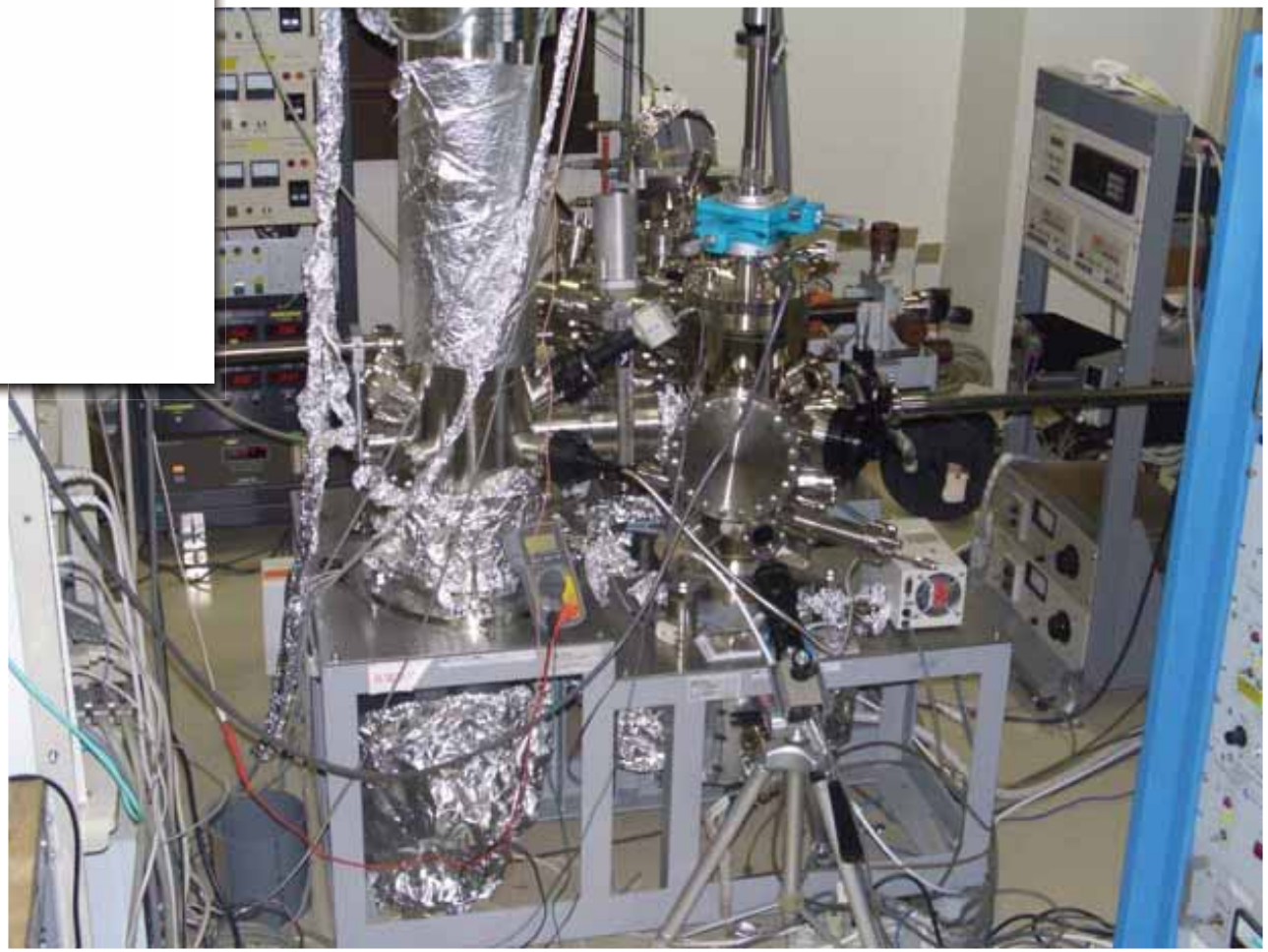


図１　グラフェンの構造。炭素原子（球）が６角形のネットワークを組んでいる。

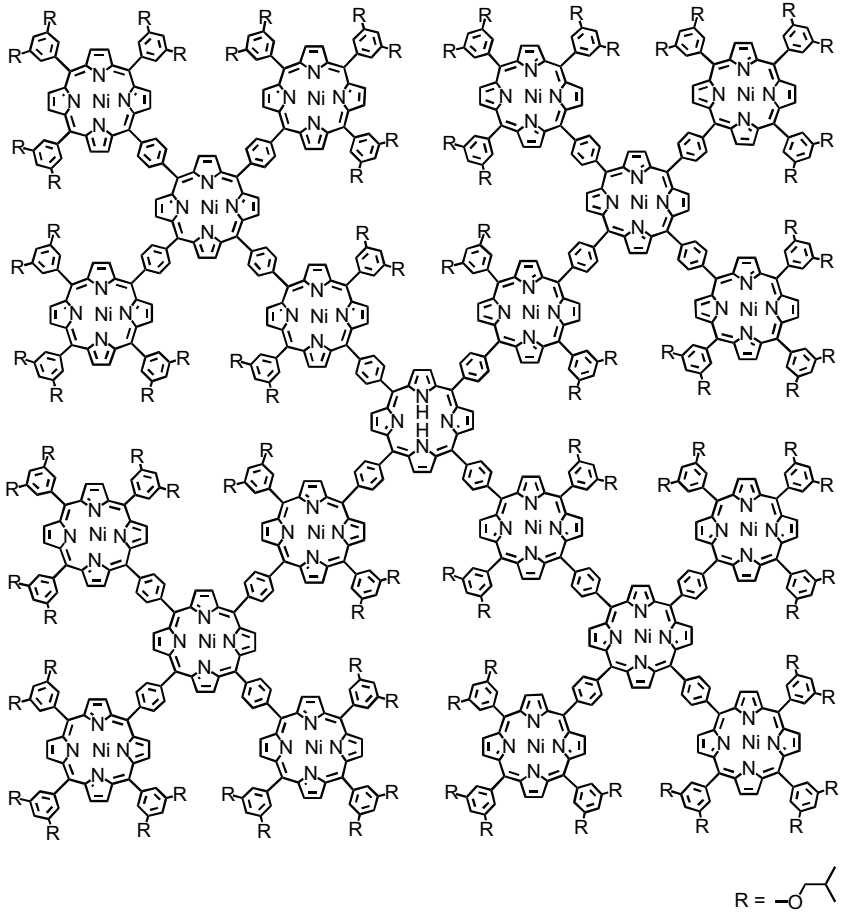


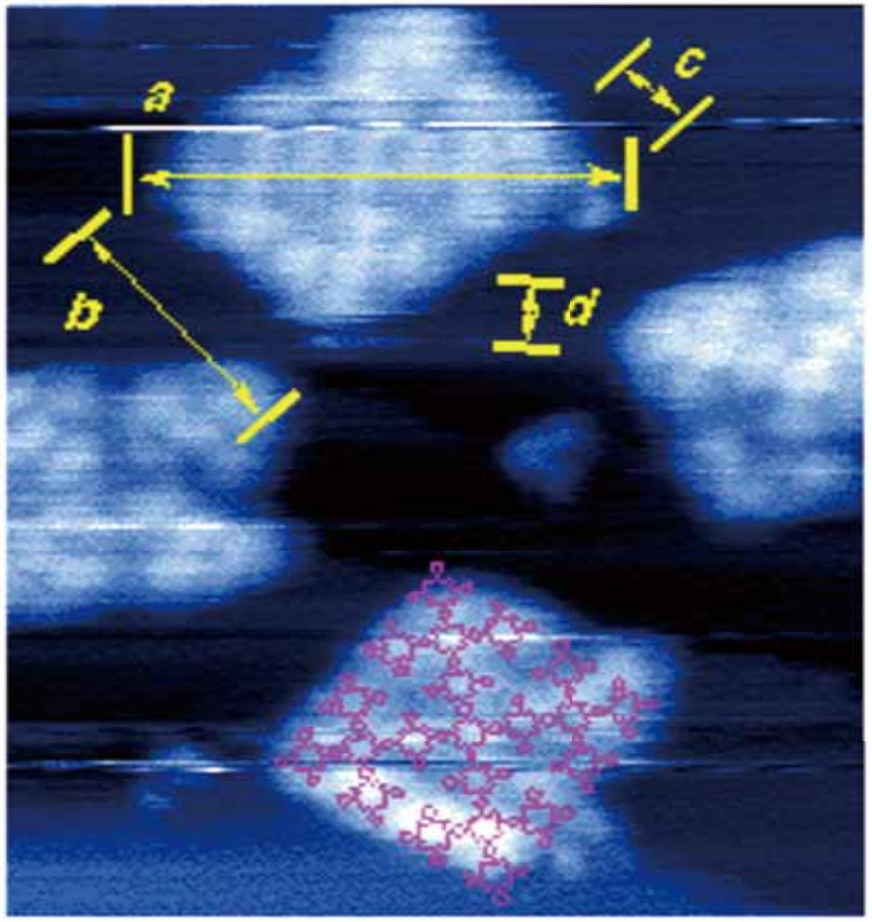
走査型トンネル顕微鏡（STM）





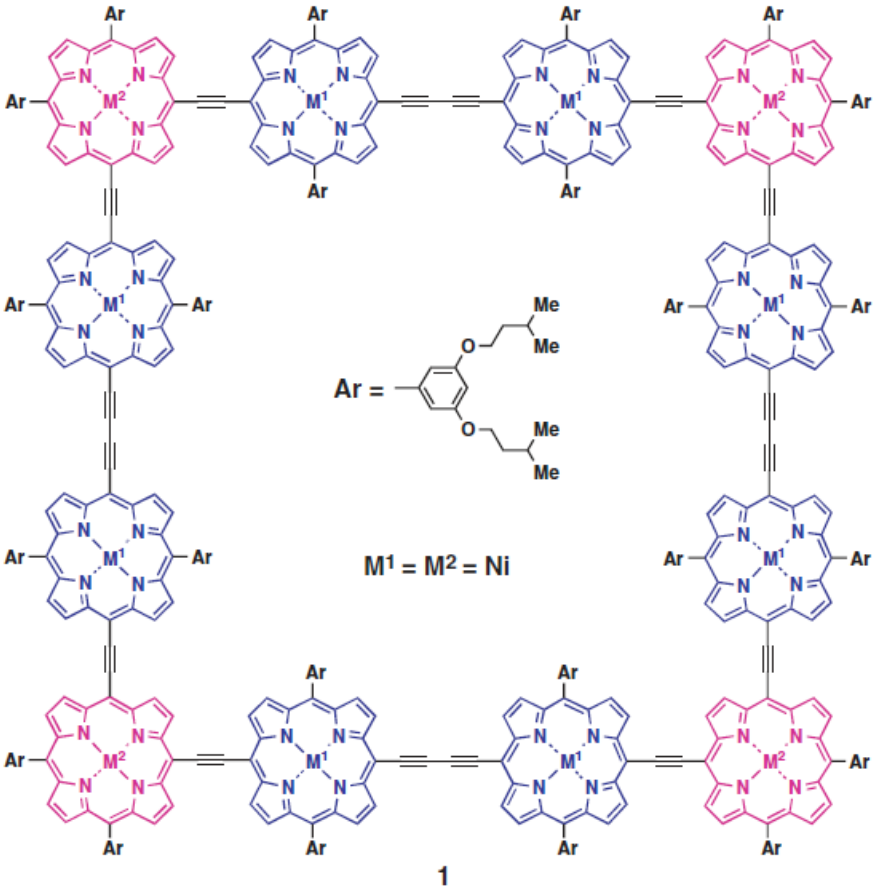
走査型トンネル顕微鏡（STM）



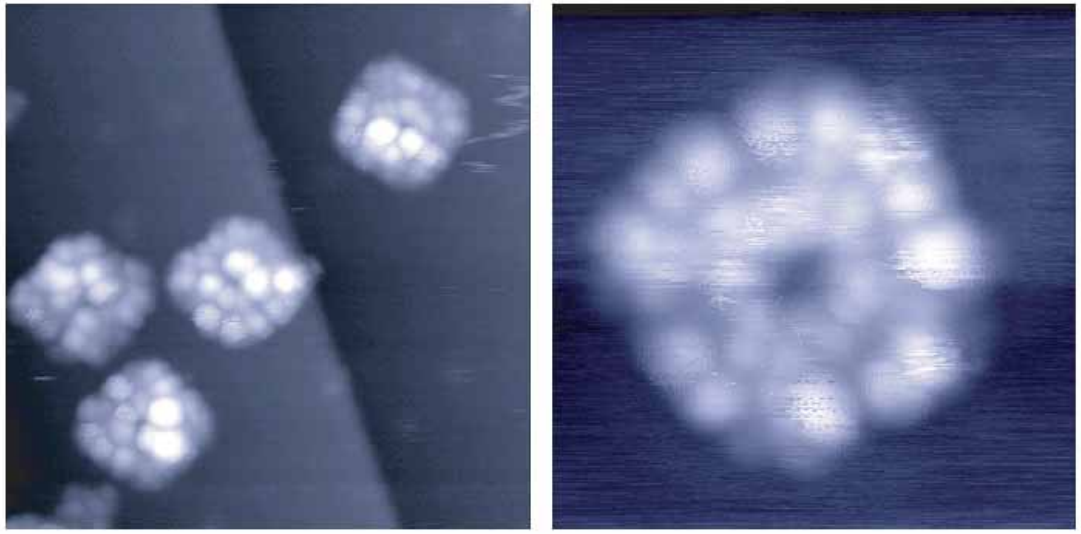


(Sugiura *et al*, *Chem. Lett*. **1999**, 1193)

走査型トンネル顕微鏡（STM）



1



(b)　(c)

(Sugiura *et al*, *Chem. Lett*. **2004**, 578)