

学術俯瞰講義

物質を作り利用する

東京大学 小宮山宏

第1回：物質製造プロセス 主な例：金属（鉄鋼）

第2回：複合化（デバイス）

主な例：半導体、無機材料

第3回：ソフトマター

主な例：導電性高分子（半導体）、液晶

第4回：地球持続の物質（デバイス）

主な例：燃料電池、バイオチップ

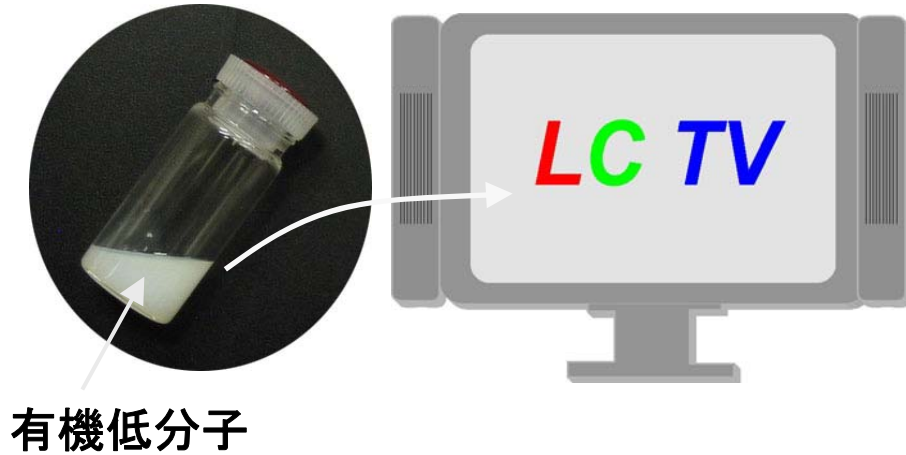
「※:このマークが付してある著作物は、第三者が有する著作物ですので、同著作物の再使用、同著作物の二次的著作物の創作等については、著作権者より直接使用許諾を得る必要があります。」

1. 概要

- 応用例 液晶ディスプレイ、カラーフィルム
 カラーフィルター、分子センサー
- 物質(分子構造・分子設計)・構造(形)
 速度(多層塗布・インクジェット)・条件
- 現象
 自己組織化・化学反応・流れ(界面張力駆動)

ソフトマター

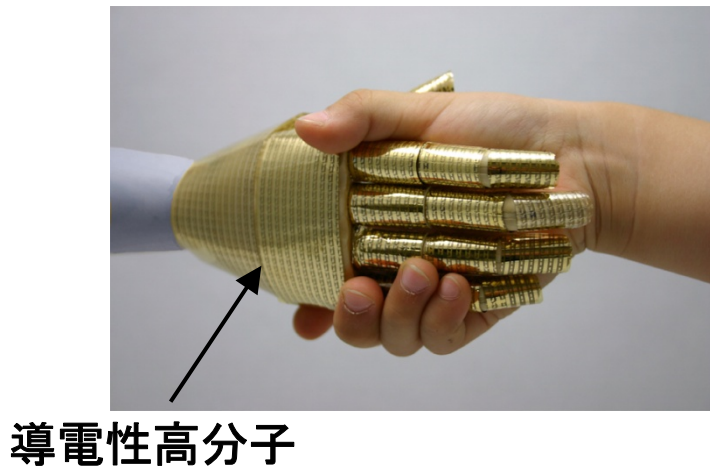
液晶



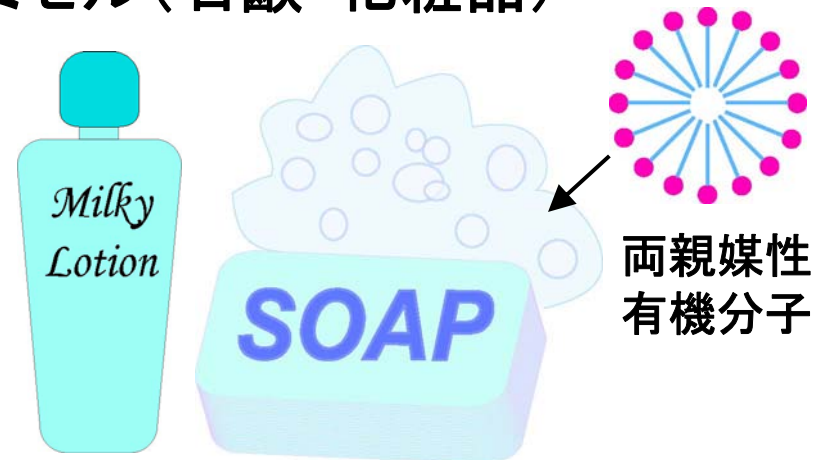
コンピューター 液晶ディスプレイ



ロボット



ミセル(石鹼・化粧品)



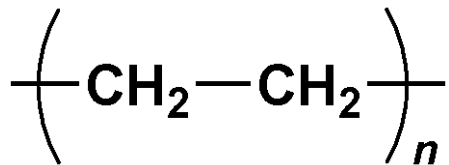
ソフトマターの特徴

	有機材料	無機材料	金属
	ソフトマター	ハードマター	
構成単位	分子	原子	
機能発現	単分子 分子集合体	原子集合体	
結合力	分子間力 (比較的弱い)	共有結合 (比較的強い)	金属結合

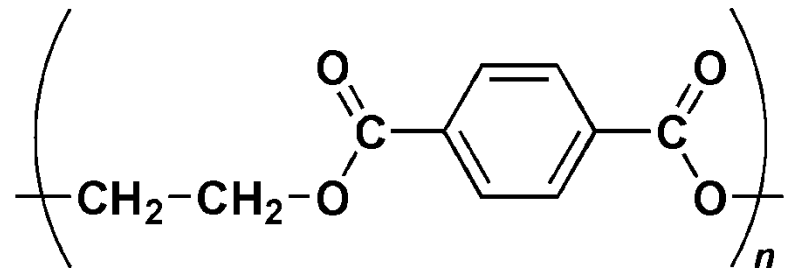
2. 構造材としてのソフトマター

高分子(ポリマー)

ポリエチレン



ポリエチレンテレフタレート(PET)



射出成形プロセス

石油から合成(PETの合成)



熱で溶融



型に射出



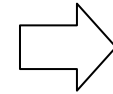
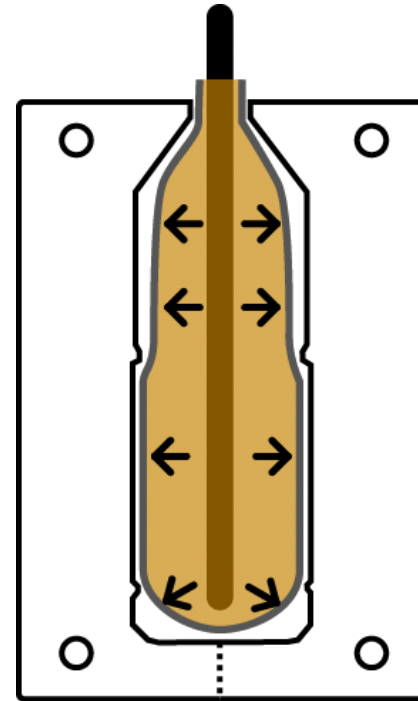
空気のブロー



冷やす



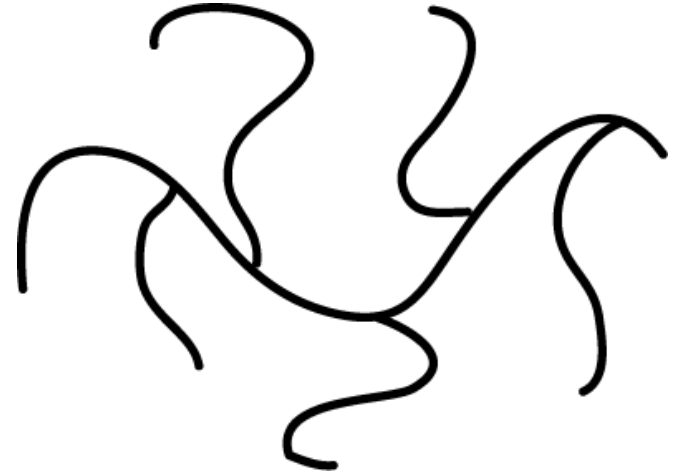
取り出す



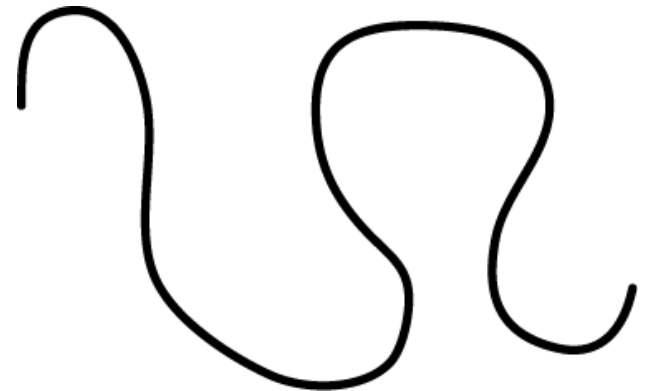
射出成形

反応プロセスと分子構造

- 高圧・酸素ラジカル重合
→ 不規則的構造
(枝分かれ構造)

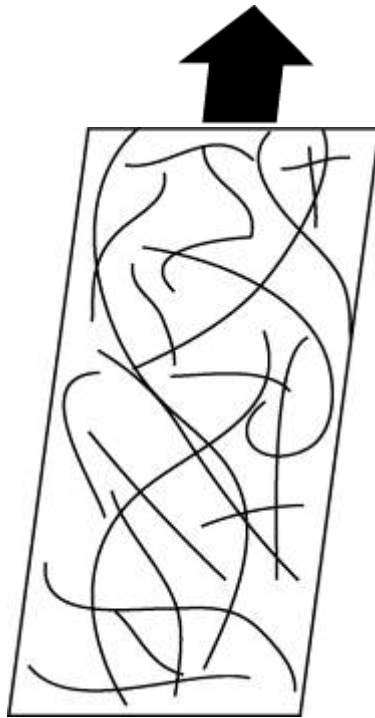


- 低圧・触媒重合
→ 規則的構造
(直鎖構造)



分子構造と物性

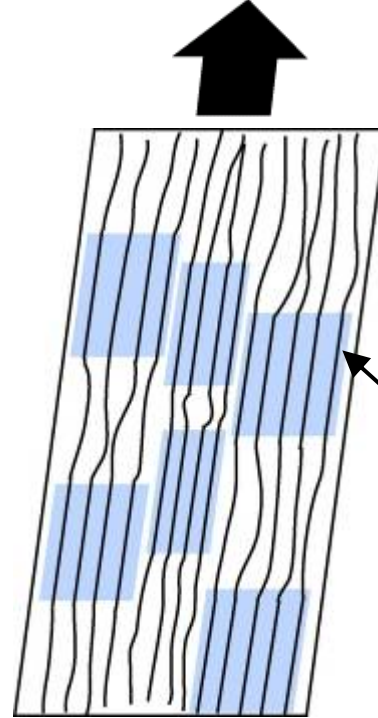
分岐状ポリエチレン



分子が並び
にくい

- ・柔らかい(フィルム用)
- ・透明

直鎖状ポリエチレン



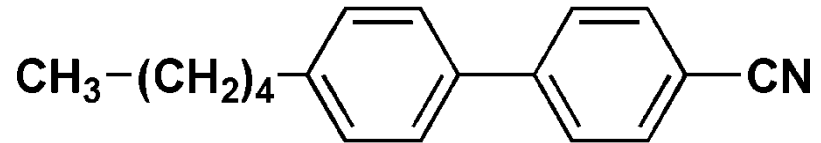
紡糸で並ぶ

結晶
領域

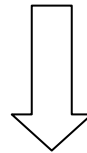
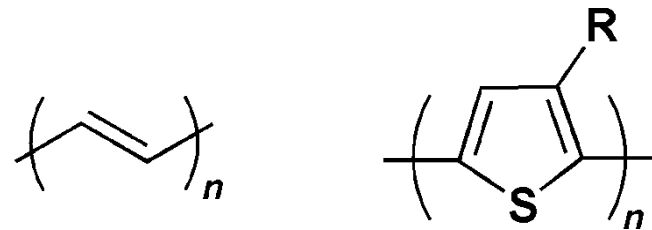
- ・引張り強度大(繊維用)
- ・不透明

3. 機能性ソフトマター

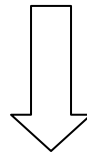
液晶



半導体
(導電性高分子)

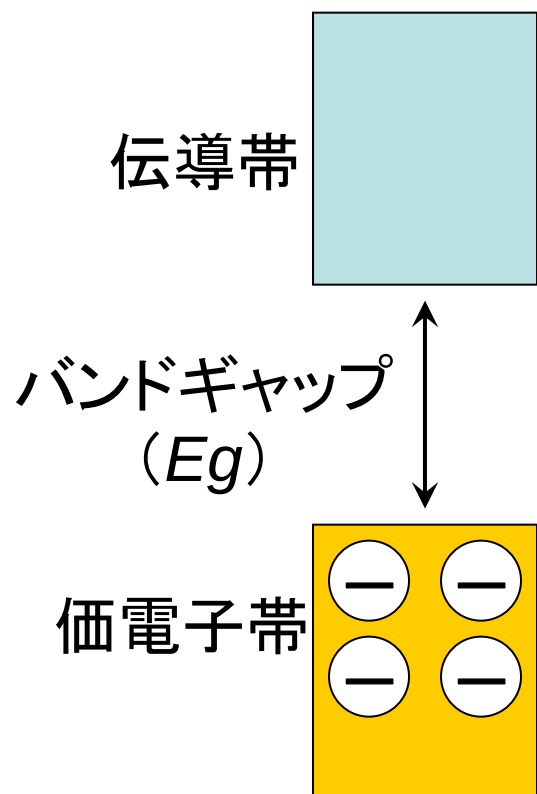


機能素子(分子)



フィルム(多層、多機能)、ファイバ、複合素子

半導体(導電性高分子)



	化合物	E_g (eV)
導電性 高分子	ポリアセチレン $(\text{---CH=CH---})_n$	1.4
	ポリチオフェン $(\text{---C}_6\text{H}_4\text{---S---})_n$	2.0
	PPV $(\text{---C}_6\text{H}_4\text{---CH=CH---})_n$	2.5
無機	Si	1.12
	GaAs	1.42

- 成形・加工が容易な半導体ソフトマター
- 化学修飾によって E_g をチューニング可能
- ドーピングにより、金属並みの導電性が発現

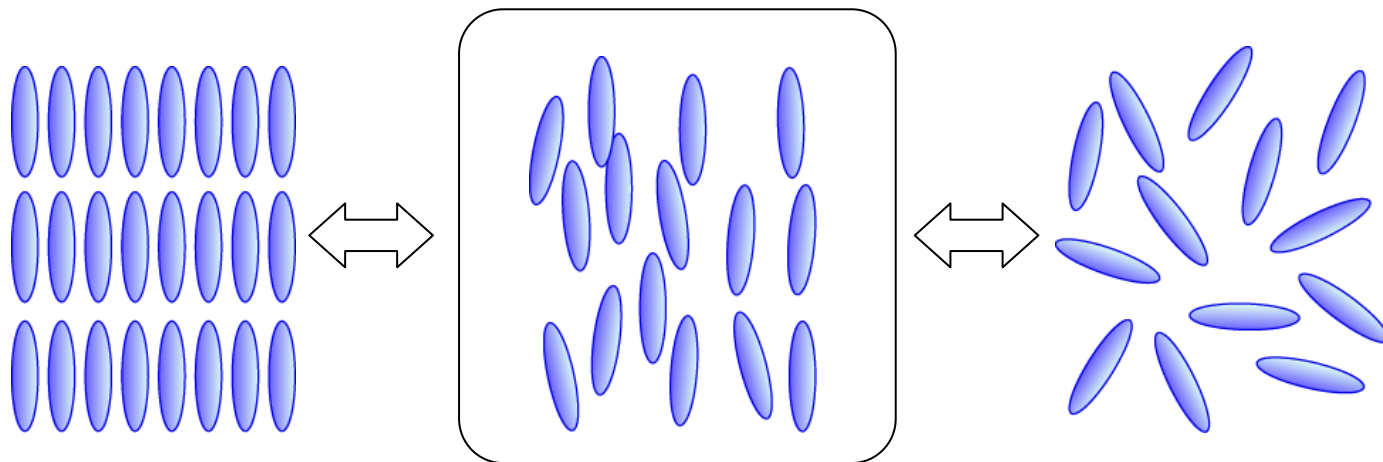
高分子半導体

	高分子半導体	シリコン(無機物)半導体
基本特性	p型およびn型半導体/pn接合 発光ダイオード 電界効果トランジスタ	p型およびn型半導体/pn接合 発光ダイオード 電界効果トランジスタ
特 長	やわらかい、大面積化可能、 化学構造変化による物性の 制御容易、軽量	かたい、優れた耐久性 高い信頼性

高分子半導体の可能性

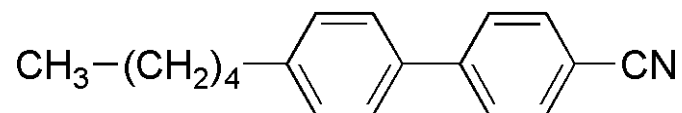
- ・紙のように曲がり、画像書き込み・消去できるデバイス ➡ 電子ペーパー
- ・分子レベル(ナノサイズ) ➡ 超微細複雑素子、生体分子などのセンサー
- ・生体分子に近い構造 ➡ 自己修復性

液晶



温度

22.5°C 35°C



3. 1 プロセスの例1

厚み方向に
マイクロメータサイズの構造をつくる

写真フィルムの多層成膜

著作権上の都合により
ここに挿入されていた動画は
削除致しました

＜提供：富士写真フィルム株式会社＞

多層塗布による多層成膜

ポイント

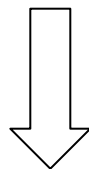
- 層流制御
- 縦方向の拡散の制御
- 乾燥プロセスの制御

3. 2 プロセスの例2

面方向に
マイクロメータサイズの構造をつくる

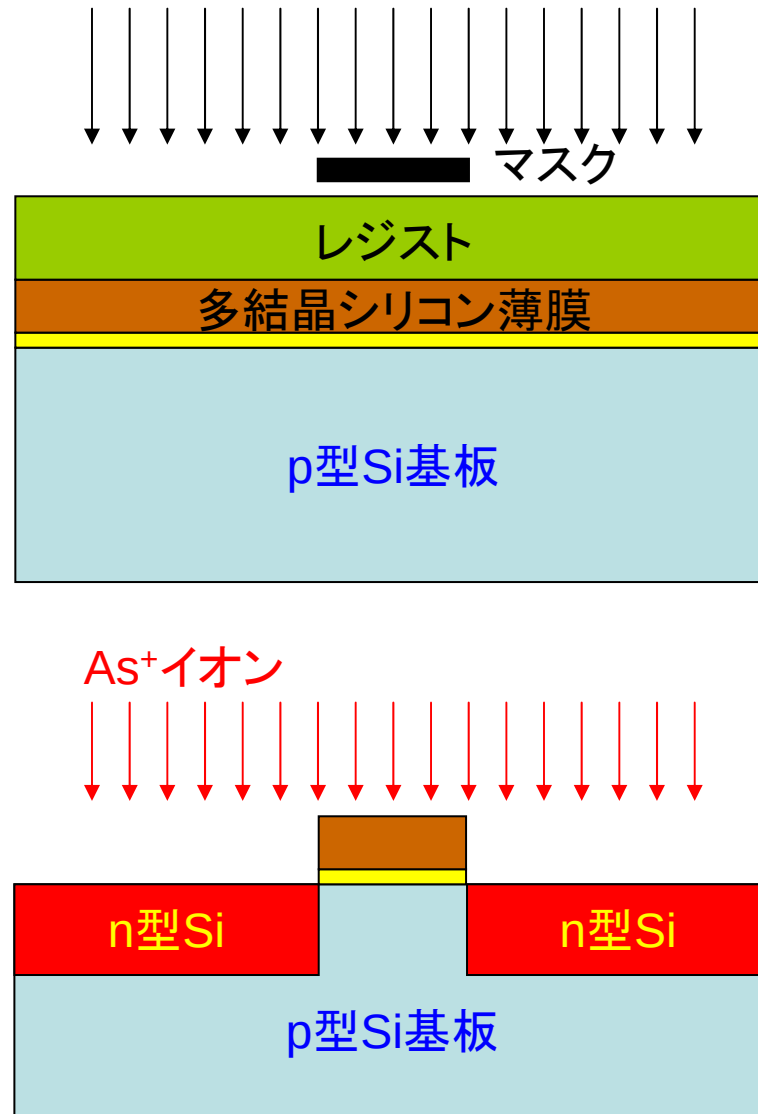
トップダウンとボトムアップ

固体から削り出す
「トップダウン方式」



分子から作り上げる
「ボトムアップ方式」は

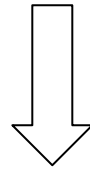
トップダウン方式（前回の復習） （シリコン半導体リソグラフィー）



ボトムアップによる形態形成

例1: カラーフィルター

マイクロサイズのドットの整列体



インクジェットでインクをプリントする

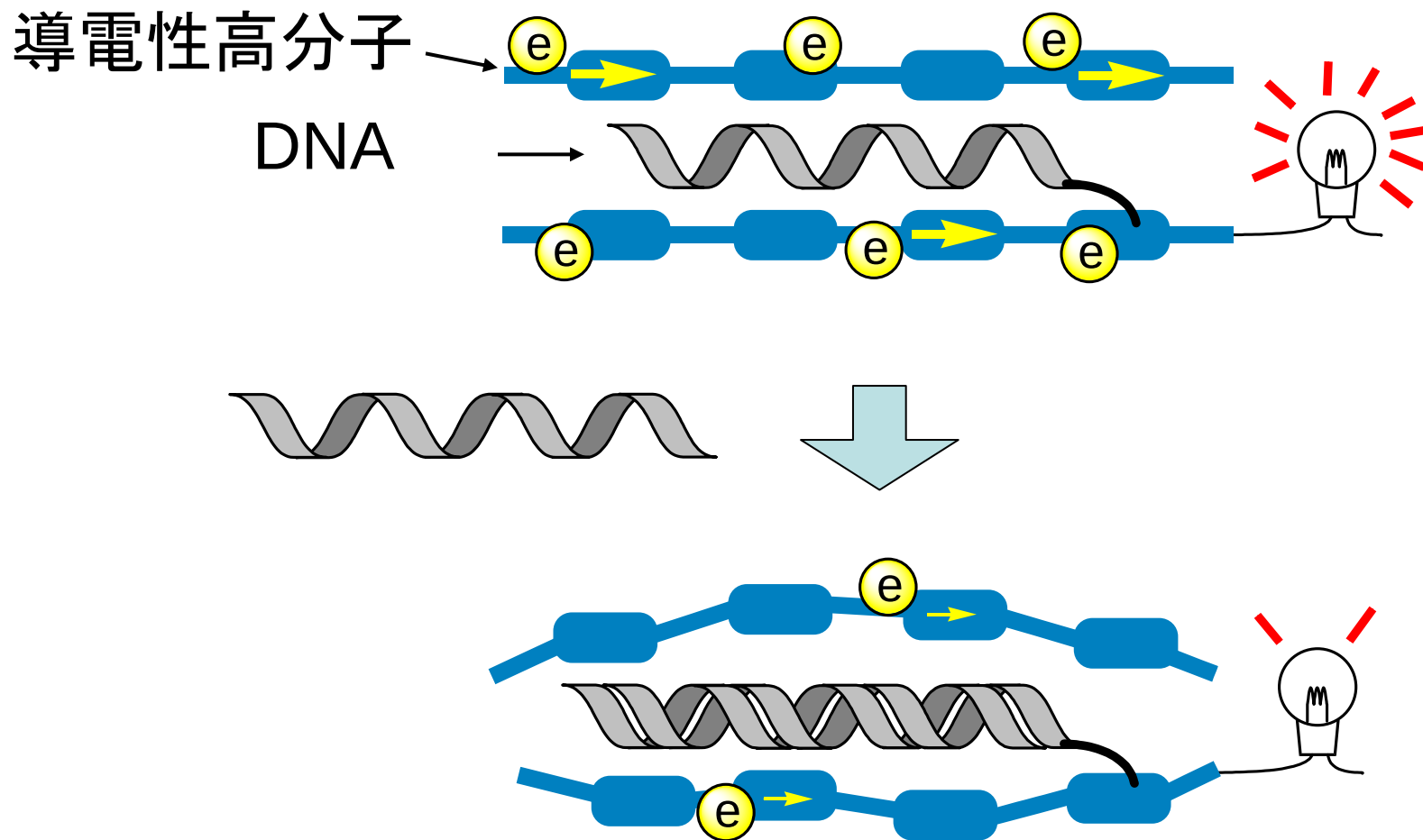
インクジェットによるカラーフィルタの 作製（ボトムアッププロセス）

著作権上の都合により
ここに挿入されていた動画は
削除致しました

＜提供：セイコーエプソン株式会社＞

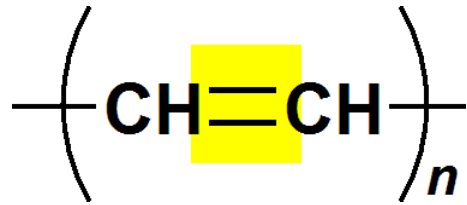
4. 機能性素子とその形成プロセス

例：DNAセンサー

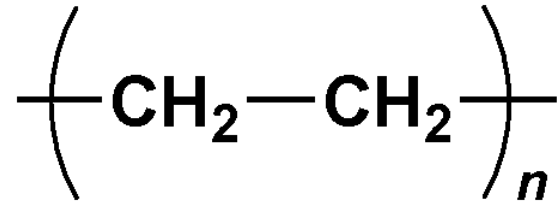


ソフトマター半導体の化学構造

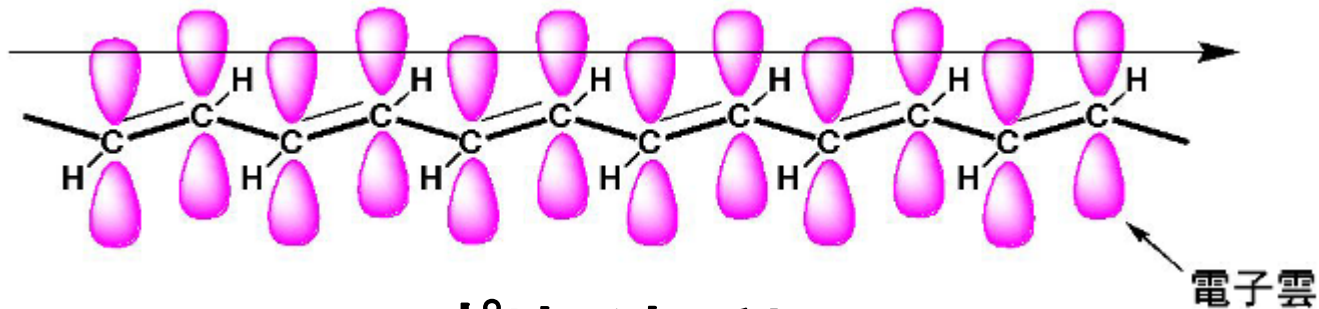
共役構造



ポリアセチレン
(導電体)
(共役構造あり)



ポリエチレン
(絶縁体)
(共役構造なし)



ポリアセチレン

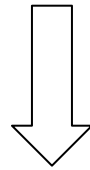
機能性ソフトマターの特長

- フレキシブル
- 大面積
- バイオとのインターフェイス

課題：耐久性、安定性

4. 1 ボトムアッププロセス

プリントテクノロジー(印刷)



インクで直接描画

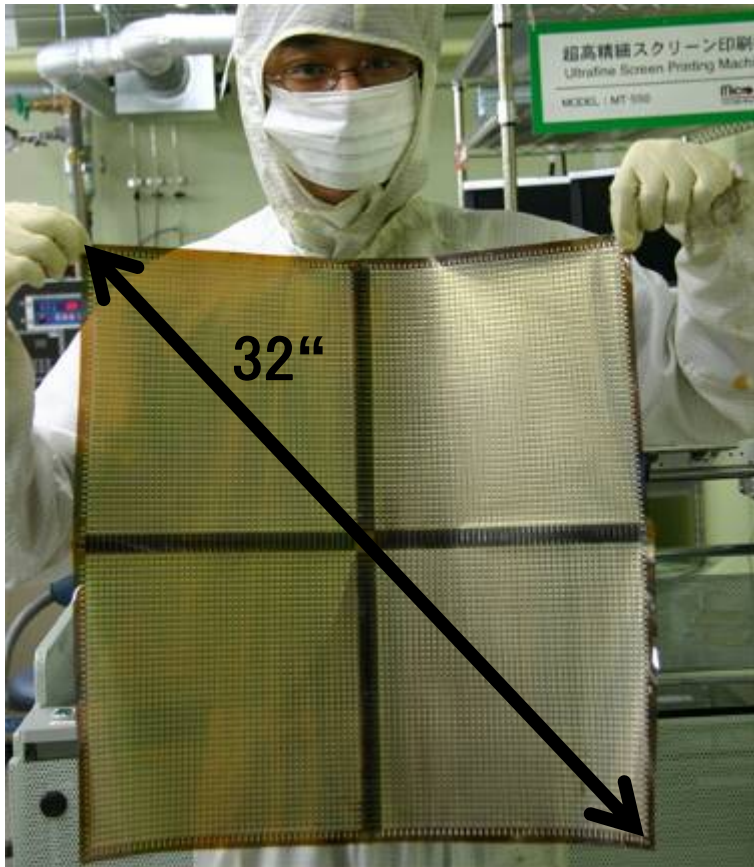
印刷(回路の作製)

著作権上の都合により
ここに挿入されていた動画は
削除致しました

<提供:セイコーエプソン株式会社>

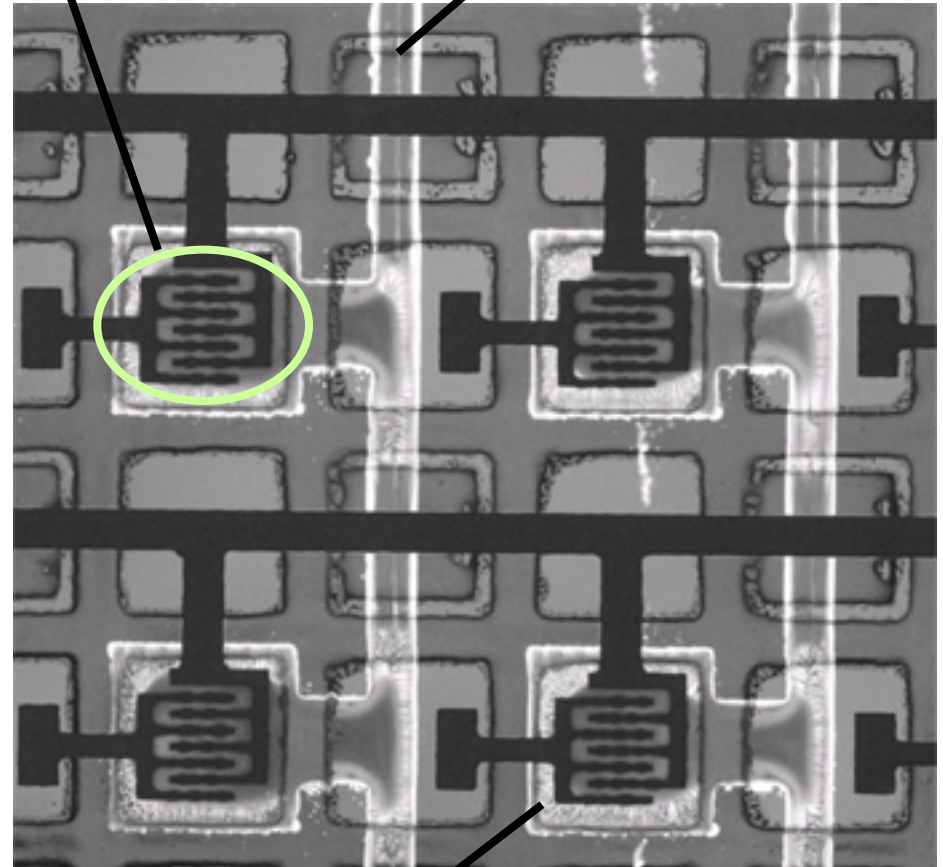
4. 2 電子人工皮膚への応用

チャンネル長 $L=50\text{ }\mu\text{m}$



導電性高分子

配線(銀ナノ粒子)

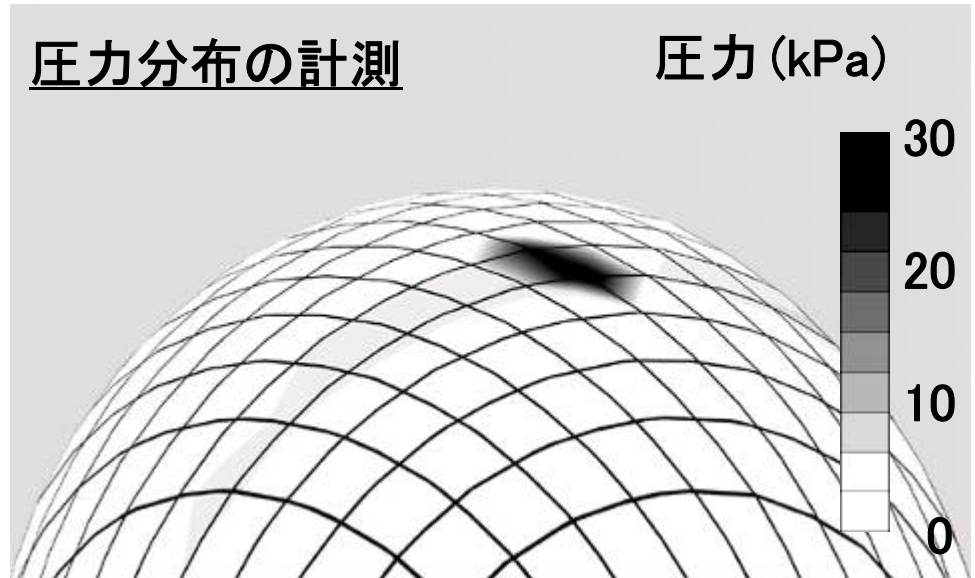
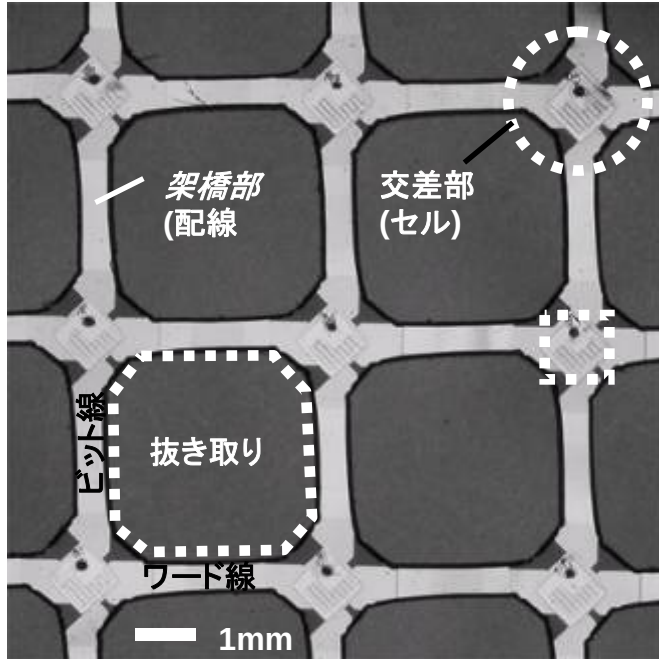


1mm

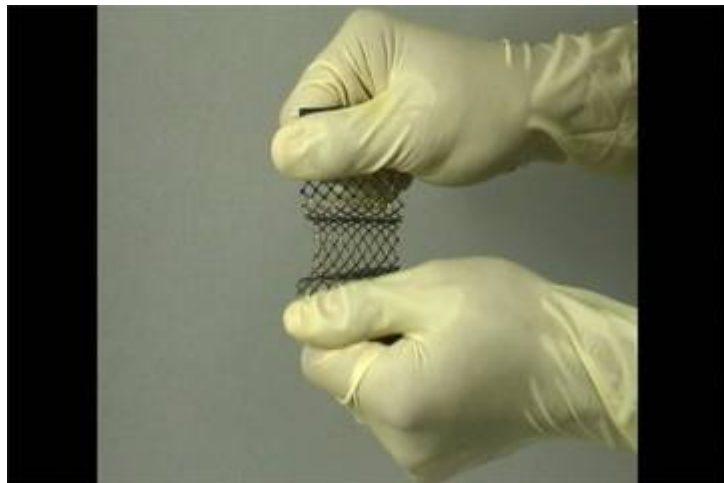
ゲート絶縁膜(ポリイミド)

<東京大学工学部物理工学科: 染谷研究室>

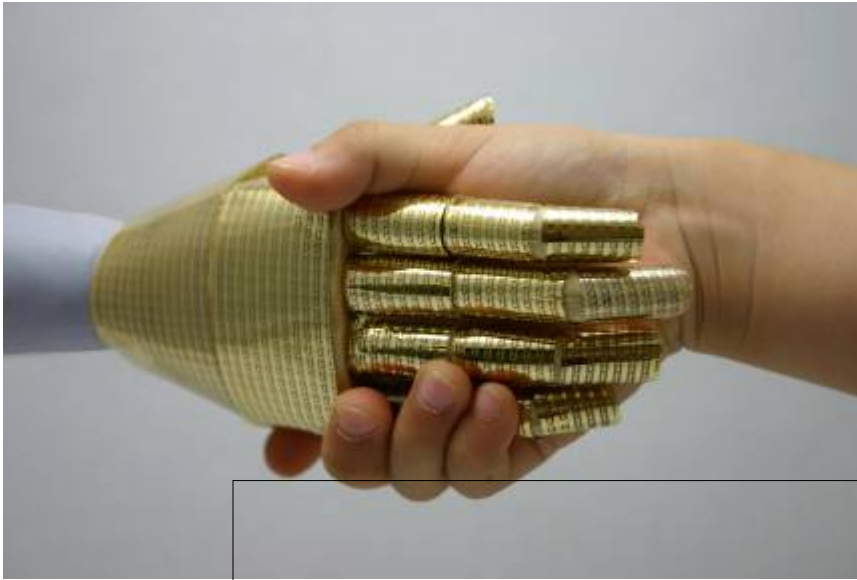
伸びる電子人工皮膚



玉子の表面に装着された人工皮膚



ロボットにヒトの皮膚感覚



著作権処理の都合で、
この場所に挿入されていた図表は
削除されました。
(*TIME*, November 21, 2005)

著作権処理の都合で、
この場所に挿入されていた図表は削除されました。
(*TIME*, November 21, 2005)

4. 3 高速プロセス

著作権上の都合により
ここに挿入されていた動画は
削除致しました

<提供:凸版印刷株式会社>

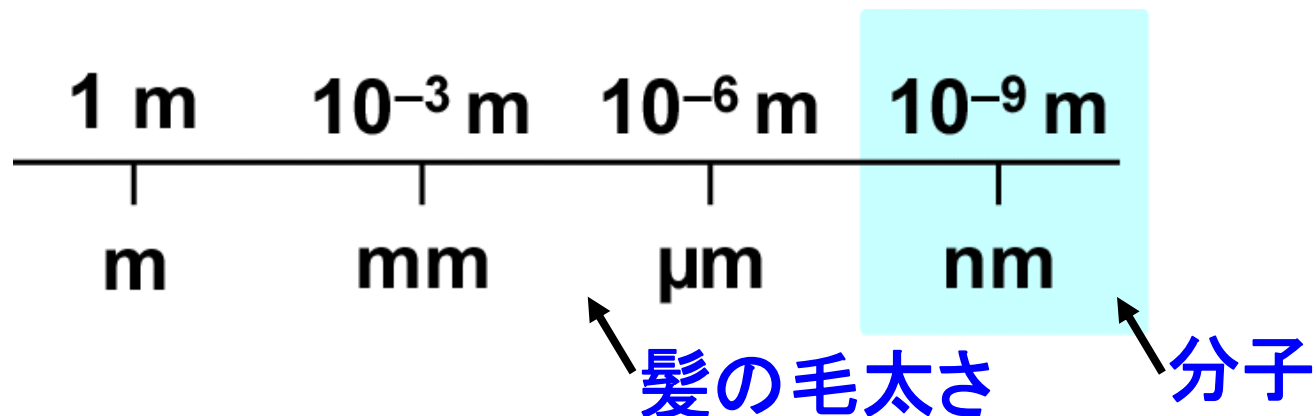
5. ナノメートルレベルものづくり

分子設計による機能発現

ナノサイズ素子の集積化

自己組織的構造形成プロセス

大面積・フレキシブルデバイス



5. 1 自己組織化現象

分子・原子(クラスター)が
構成単位を維持しつつ
自発的に構造を形成していく

期待

- 精緻な構造の形成
- 省エネルギープロセス
- 環境低負荷

自己組織化現象の分類と事例

熱力学	平衡	非平衡開放系
具体例	結晶 液晶 自己組織化膜 相分離	チューリングモデル ベローソフ・ジャボチンスキー反応 リーゼガングリング 砂漠の風紋 熱帯魚の縞模様 森林

自己組織化の例

- ・熱力学的に非平衡な系
(砂丘、森林、化学反応の振動現象)

溶媒の蒸発に伴い成長する
アスコルビン酸の結晶
(リーゼガングリング)



鳥取砂丘にできる風紋



提供: 中央大学理工学部 松下貢教授
撮影: 早稲田大学理工学術院 山崎義弘准教授

自己組織化の例

- ・熱力学的に非平衡な系
(砂丘、森林、化学反応の振動現象)

森林(蓼科 縞枯れ山)

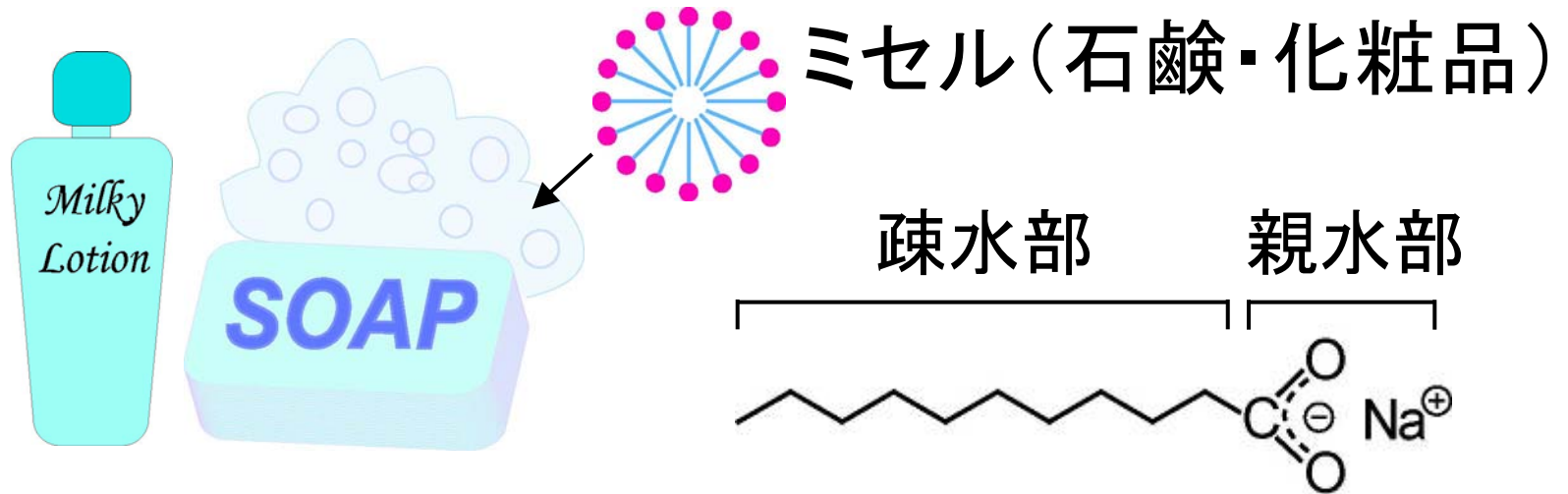


† ペンション ラディッシュガーデン

<http://www.p-rg.com/n/nanafushigi.html>

1997年当時の茅野市立八ヶ岳総合博物館・両角源美館長の冊子より作成

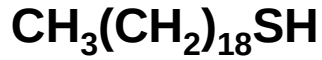
5. 2 両親媒性分子の自己組織化



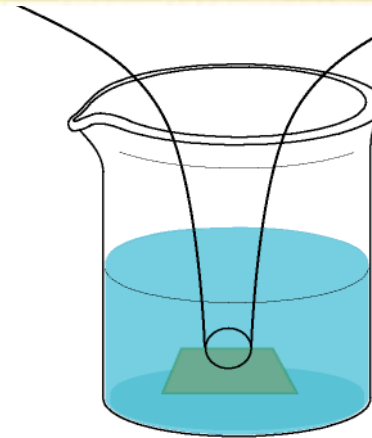
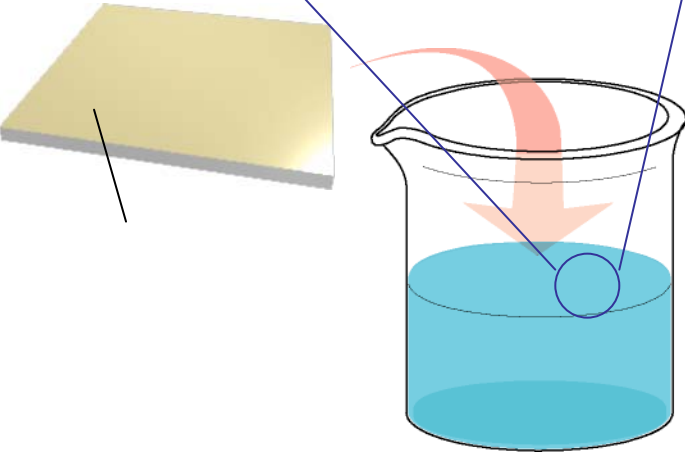
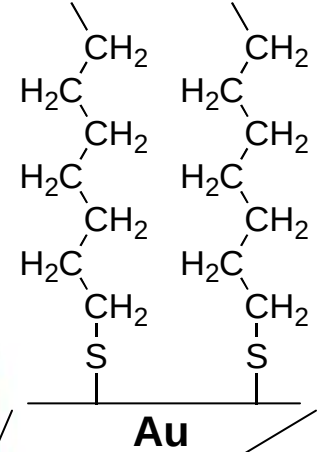
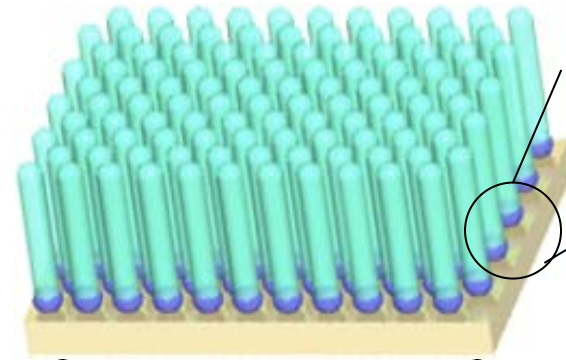
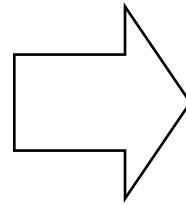
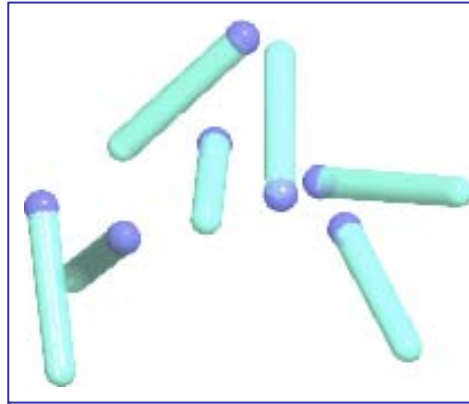
基板上的での自己組織化

分子レベルの機能化(自己組織化膜)

自己組織化膜(基板上2次元結晶化)

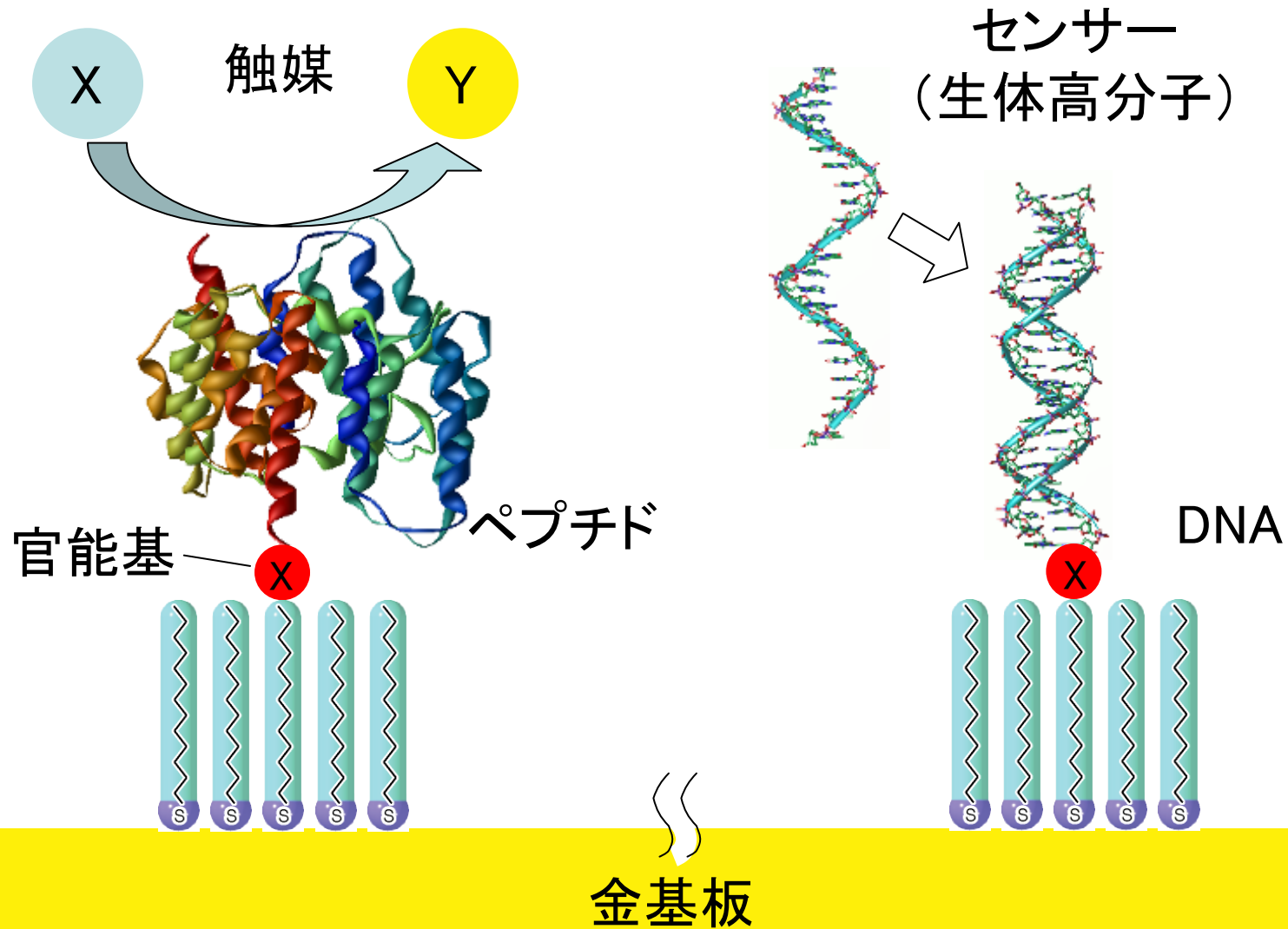


(兩親媒性分子)

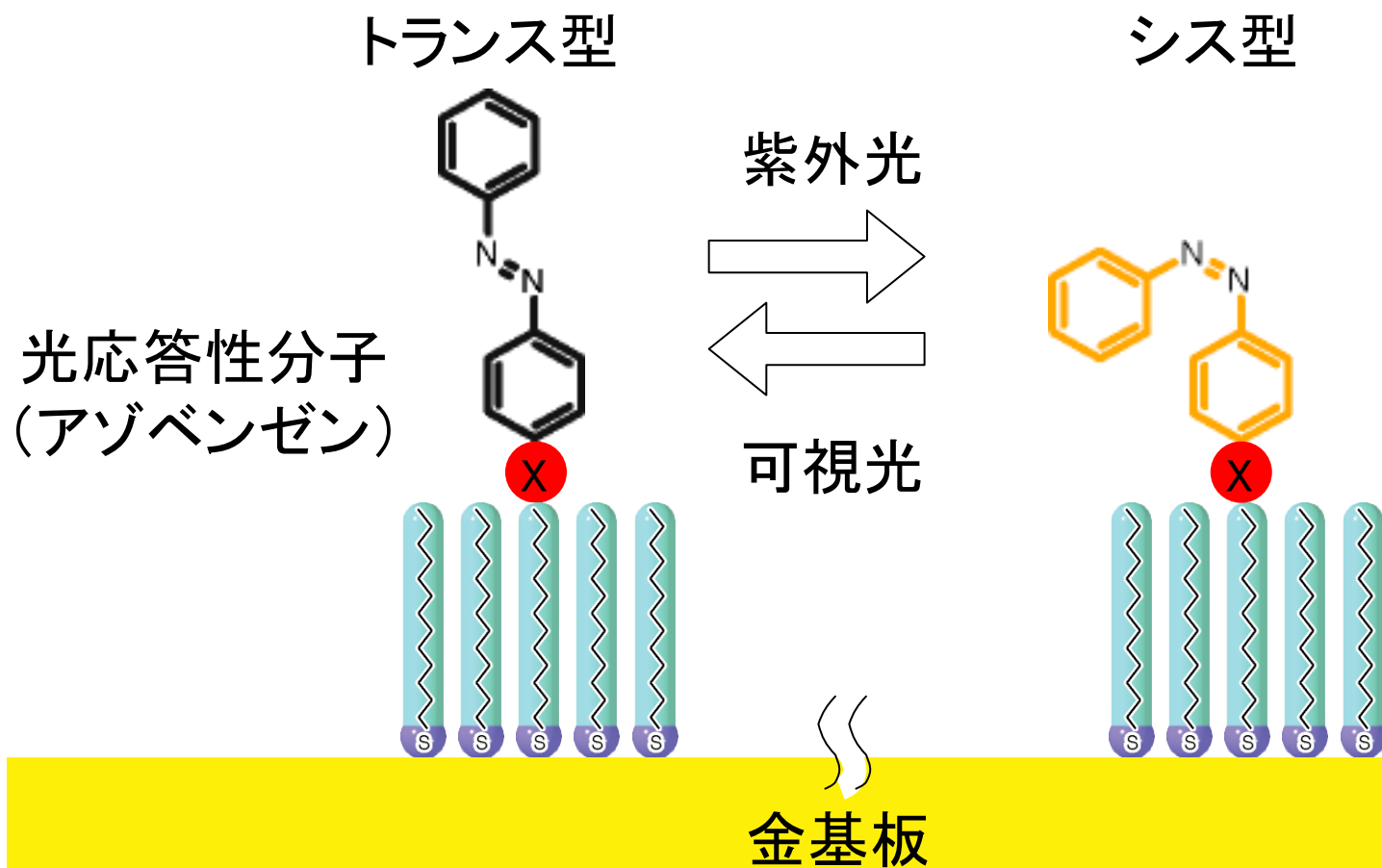


自己組織化膜の応用(1)

(単分子触媒・単分子センサ)



自己組織化膜の応用(2) (光メモリー・センサー)



微細化で顕著化する現象(1)

著作権上の都合により
ここに挿入されていた動画は
削除致しました

＜提供：セイコーエプソン株式会社＞

微細化で顕著化する現象(2)

著作権上の都合により
ここに挿入されていた動画は
削除致しました

＜提供：セイコーエプソン株式会社＞

界面張力が支配

- 界面張力／重力

$$\frac{\sigma \times \text{円周}}{g \rho \times \text{体積}} = \frac{\sigma}{g \rho r^2}$$

σ : 界面張力 [N m⁻¹]

g : 重力加速度 [m s⁻²]

ρ : 密度 [kg m⁻³]

r : 液滴の半径 [m]

1ミクロンの水の液滴で
10⁷ !

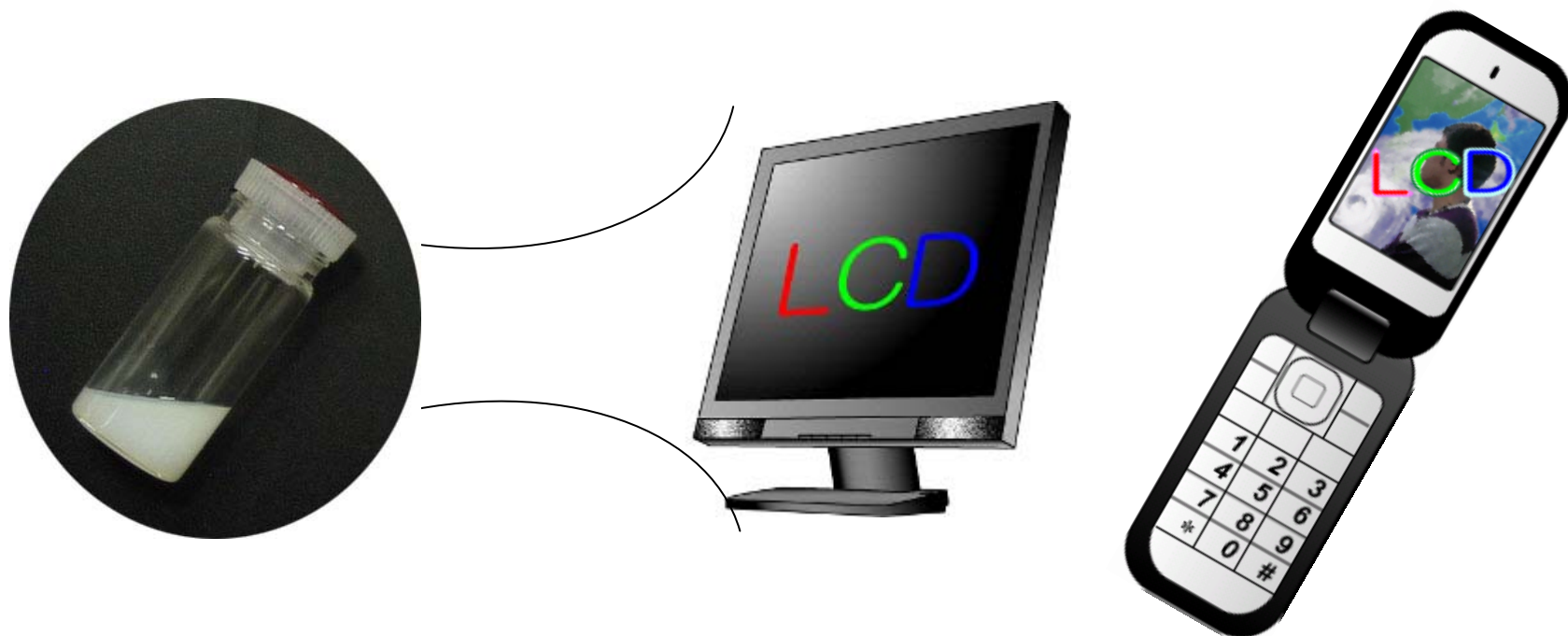
5. 4 自己組織化ソフトマター：液晶

- ・ 物質の第4の状態
固体・液晶・液体・気体



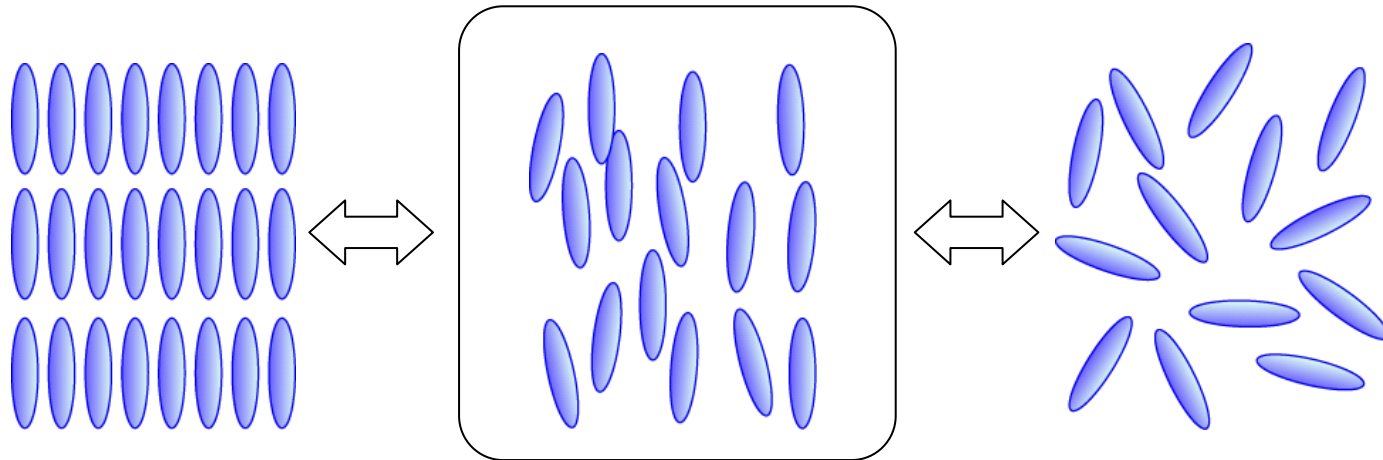
液晶の応用の例

液晶はディスプレイに利用されている



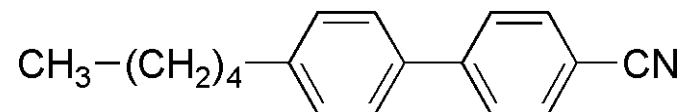
パソコン用や携帯電話用のディスプレイ

液晶の相変化

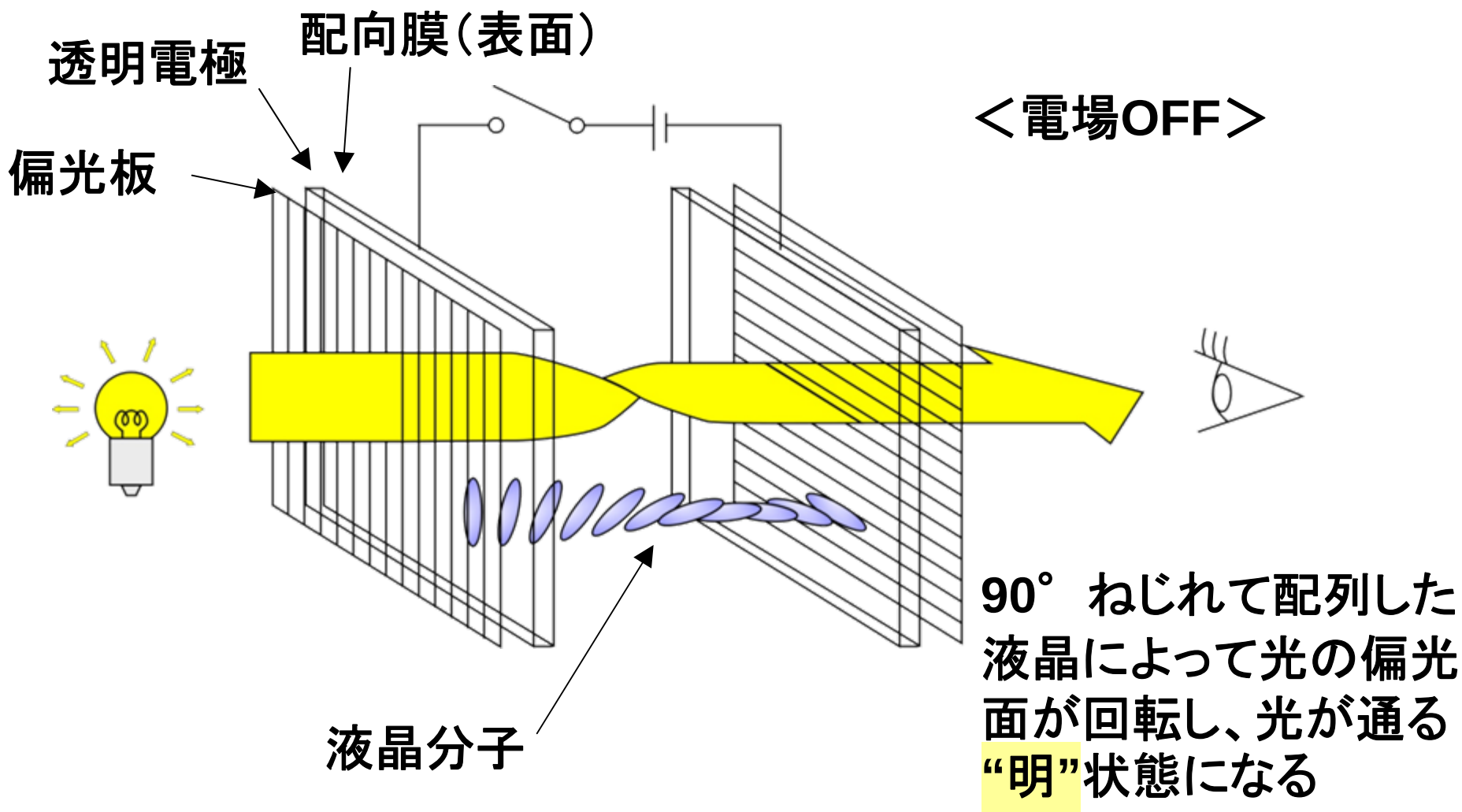


温度

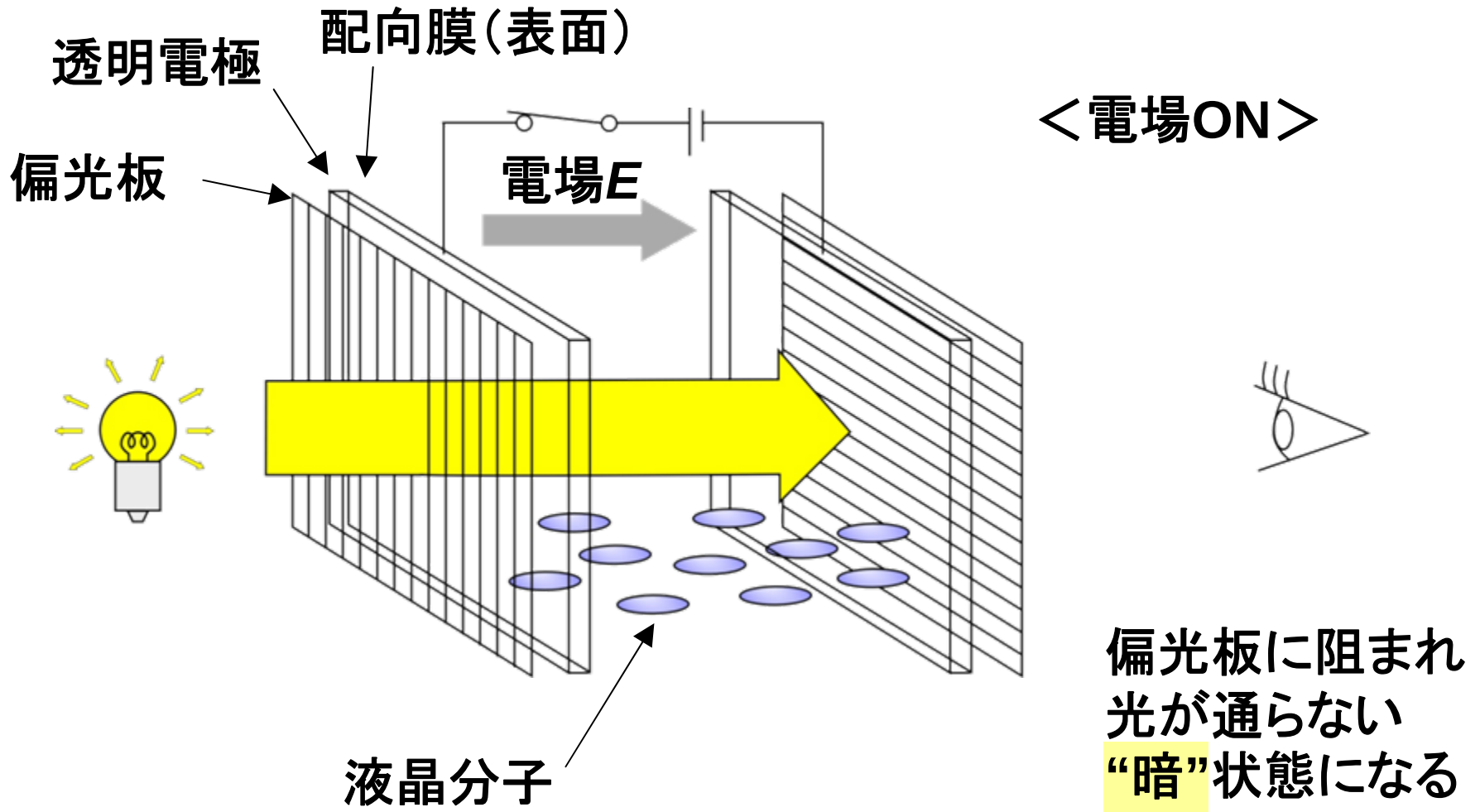
22.5°C 35°C



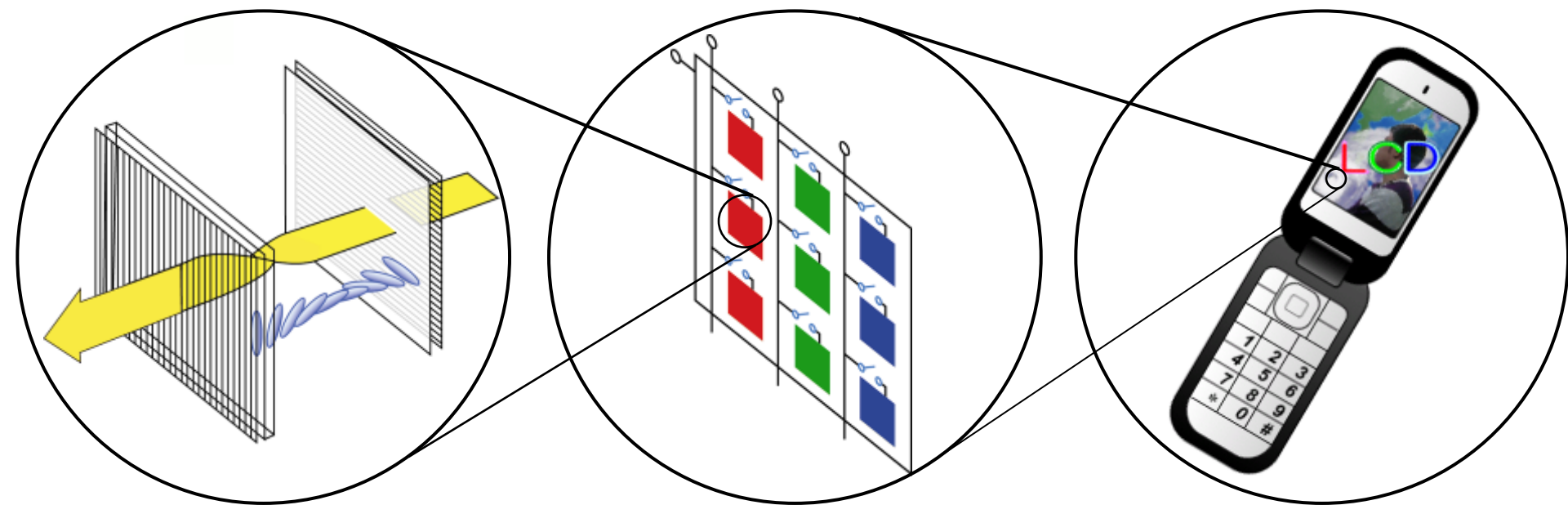
液晶ディスプレイのしくみ



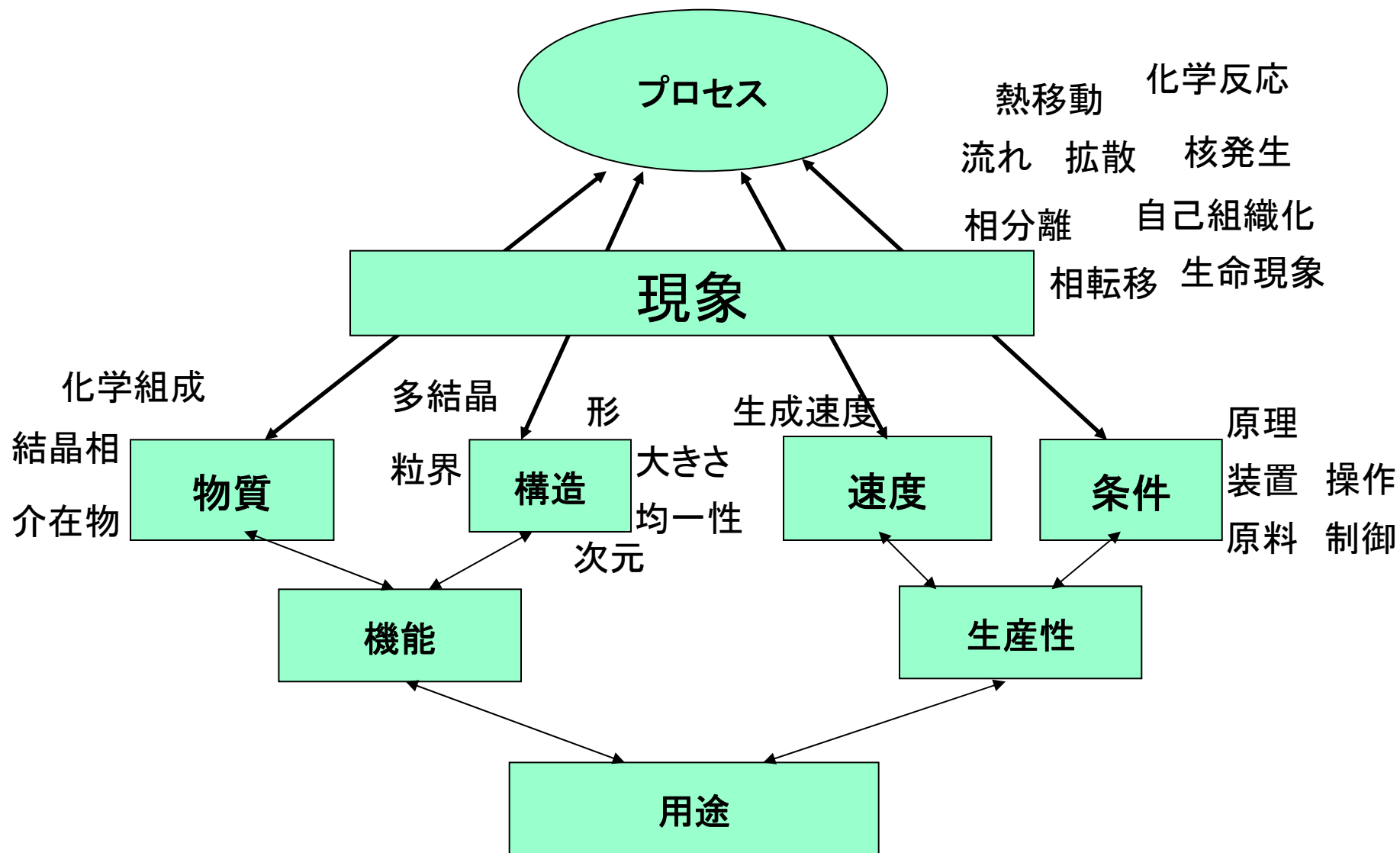
液晶ディスプレイのしくみ



カラー液晶ディスプレイ



1つ1つをトランジスタで制御



6. 物質・物性・構造・機能・応用

液晶ディスプレイの例

物質：棒状で電子分極した分子が弱く配列



物性：物体として分極し、配列が変化する

構造：平面電極間に充填された10ミクロン膜

機能：電場に応答して配列変化
透明不透明変化

応用：画素毎に制御すればディスプレイ
カラーフィルターを通せばカラーディスプレイ

7. 最近の研究例

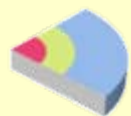
分子設計、そのための反応設計
に基づく高機能発現

自己組織化の高度制御、利用

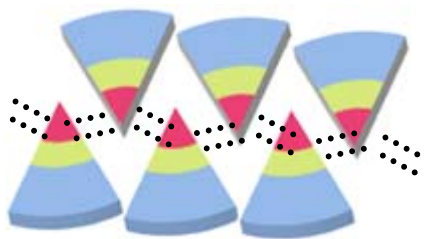
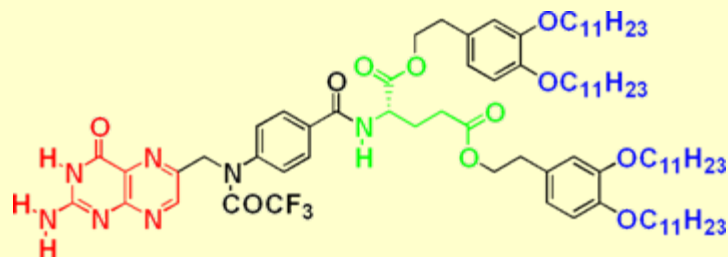
多機能集積化

生体の模倣・生体との結合

液晶を用いるイオンセンサーの開発



超分子液晶

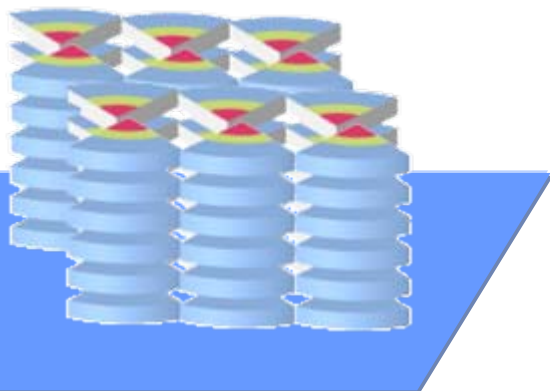


超分子ポリマー

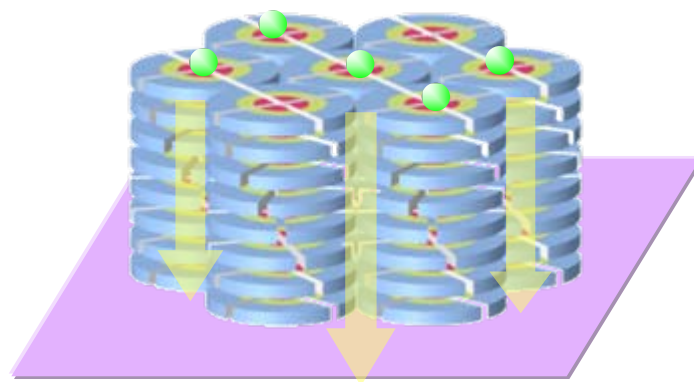
水素結合スイッチング



ディスク状分子



イオン(刺激)



- ・刺激に応答して自己組織化構造を変化・イオン信号を発信

＜東京大学工学部化学生命工学科:加藤研究室＞

8. ソフトマターまとめ

応用

構造材（汎用プラスチック、高性能プラスチック
汎用フィルム、繊維）

機能材（液晶、半導体＝導電性プラスチック）

物質（分子と集合体の設計）・構造・速度・条件

物質と構造で機能

現象（界面張力・マランゴニー対流）

次回：地球持続の物質（デバイス）
燃料電池、マイクロ化学チップ