

公開講座2023

「人工知能、大規模データ処理による新材料・デバイス研究の革新」

@たけまるホール、2023_10/07

科学データを集める —大学や公的研究所の役割—

奈良先端科学技術大学院大学 (NAIST)
マテリアル研究プラットフォームセンター (CMP)

特任教授 清水 洋



自己紹介

1956年生まれ

1986年 大阪大学大学院工学研究科プロセス工学専攻博士後期課程修了
(工学博士)

1986年～1990年 住友電気工業株式会社にて材料の研究開発に従事

1990年～2017年 国立研究開発法人 産業技術総合研究所 (関西センター)

1986年～1987年 通商産業省工業技術院併任 (総括研究開発官付)

1999年～2000年 通商産業省工業技術院併任 (産業技術研究開発整備推進室)

2014年～2016年 一般社団法人 日本液晶学会 会長

2015年～ 一般社団法人 近畿化学協会 理事

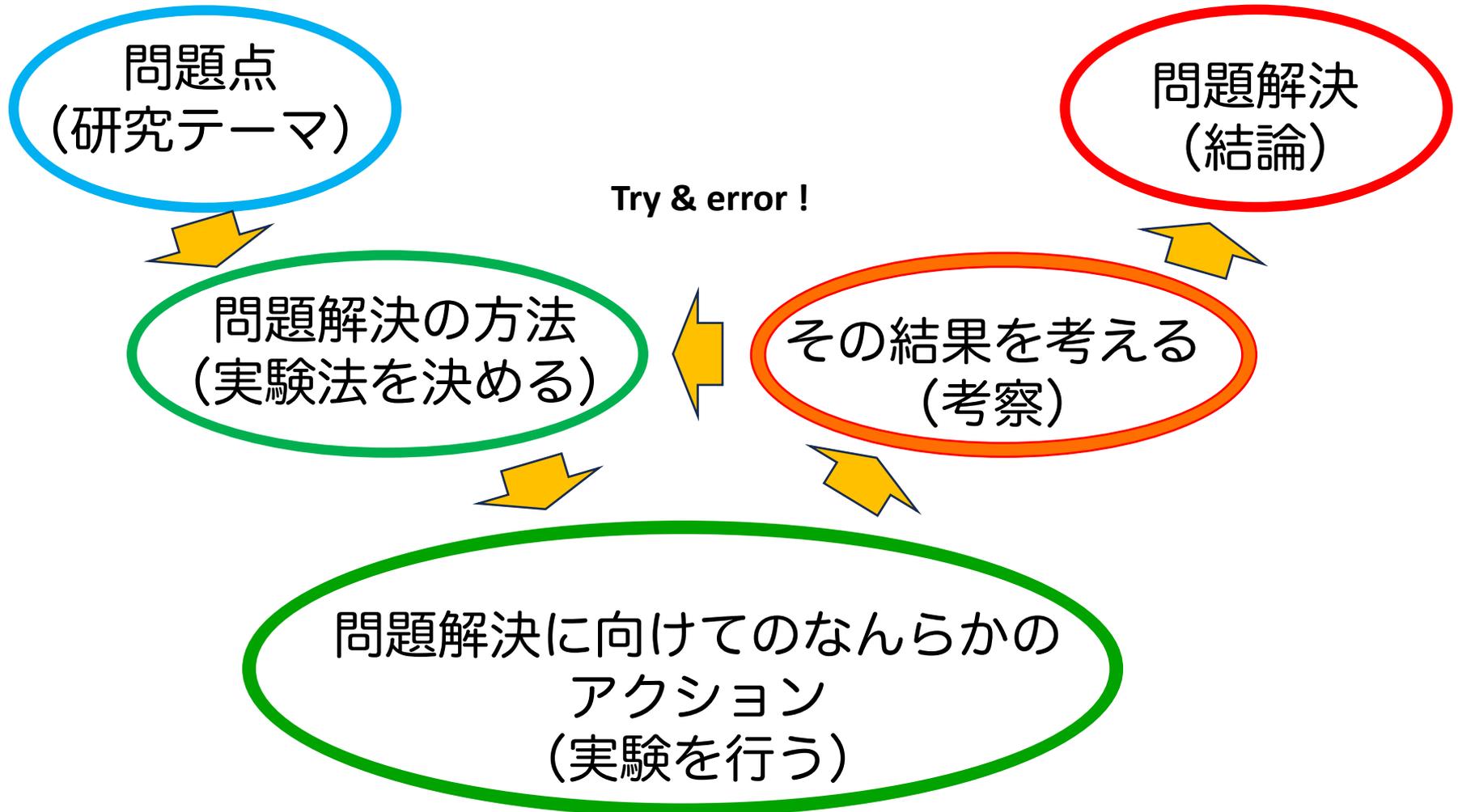
2017年～ 国立大学法人 奈良先端科学技術大学院大学 特任教授

専門分野：液晶材料、有機電子材料

受賞：日本液晶学会学術賞他

趣味：ski、考古学 (特に古墳時代) の本を読むこと

研究、研究開発：やることのながれ データはどこで生まれるのでしょうか？



材料研究としての液晶研究の世界

液晶 = ディスプレイ (TVやパソコン)

ではなく、そもそも、「結晶固体」と「液体」の中間状態

結晶固体

分子や原子が規則正しく並んで集まっている状態で硬い (割れる、砕ける性質)

この規則的な並び→物質としての性質に方向性を与える (異方性)

アモルファス固体と結晶固体
単結晶と多結晶体



中間状態とは？

液体

分子や原子が弱い力 (分子間力、原子間力) で規則性無く集まっている状態で柔らかい (流れる性質)

お互いを拘束する力が弱いので動きやすい

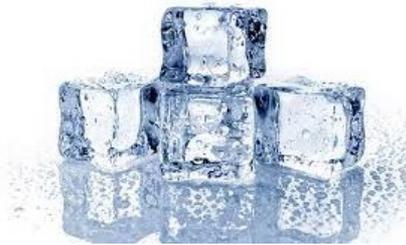
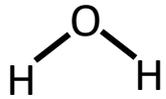
→色々な方向に動ける (流動性)

→物質としての性質に方向性が無い (等方性)

物質の状態変化（相転移）と分子間力

相転移（状態変化）：運動性（熱エネルギー）と分子間力の関係

水：H₂O



この辺に「液晶状態」が位置付けられる



普通は見えない



流れる水も凍る



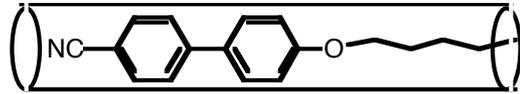
流れる水は色々な形の器にその形に応じて入る



見えない気体が見える
（冷却による水微粒子の形成：湯気と光の散乱）

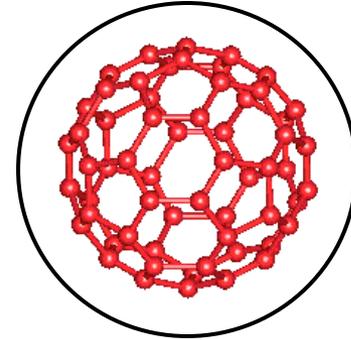
液晶性と分子の形 (異方性)

1次元

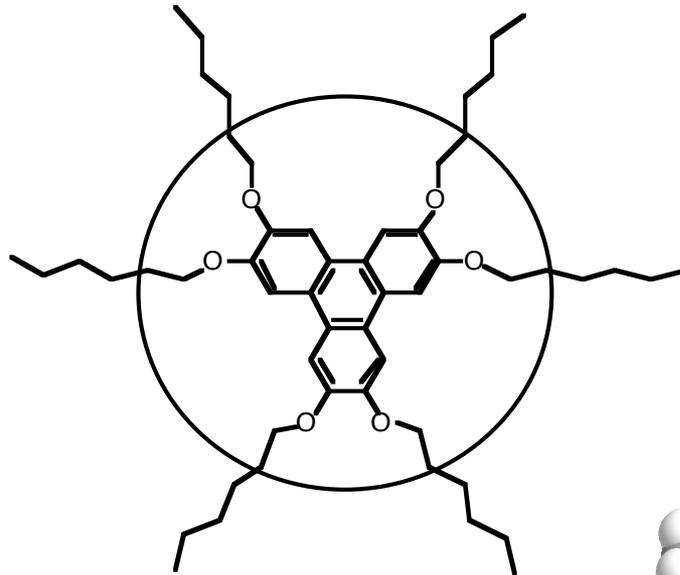


棒状 rod-like

3次元



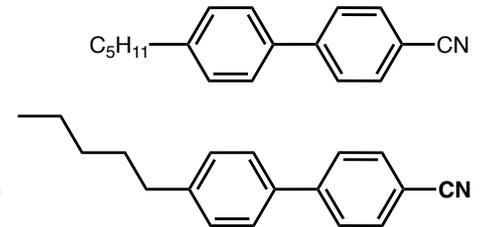
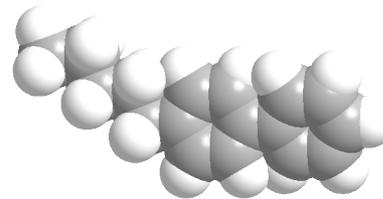
プラスチッククリスタル
(柔粘性結晶)



disc-like

2次元

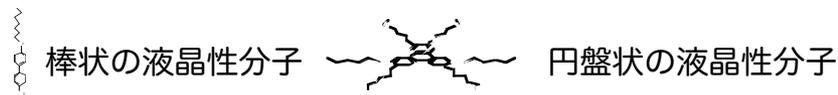
円盤状



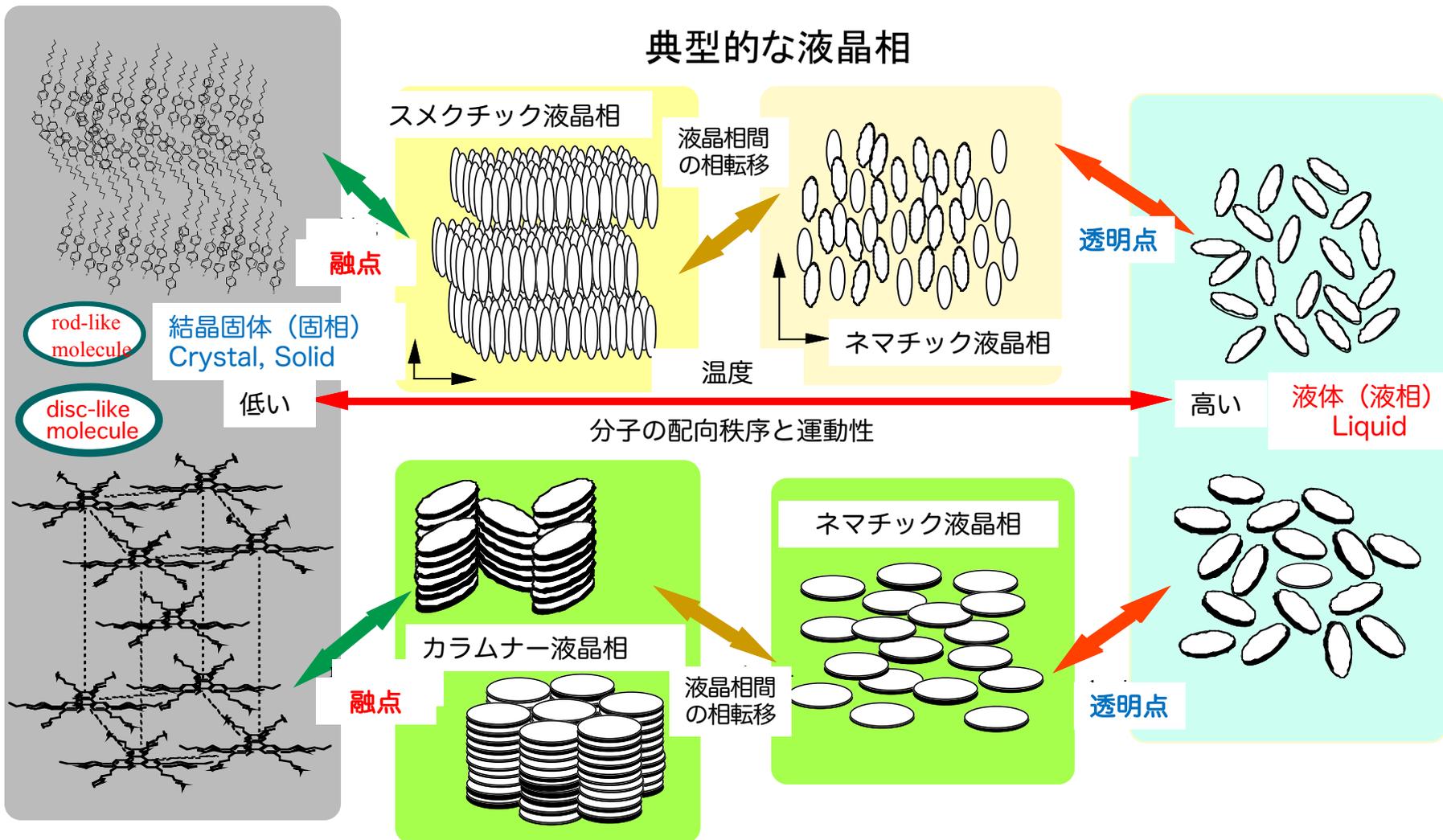
Pentylcyanobiphenyl (5CB)

熱的融解過程における液晶状態

熱相転移型液晶

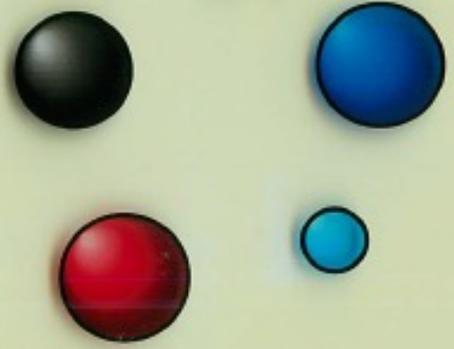


典型的な液晶相

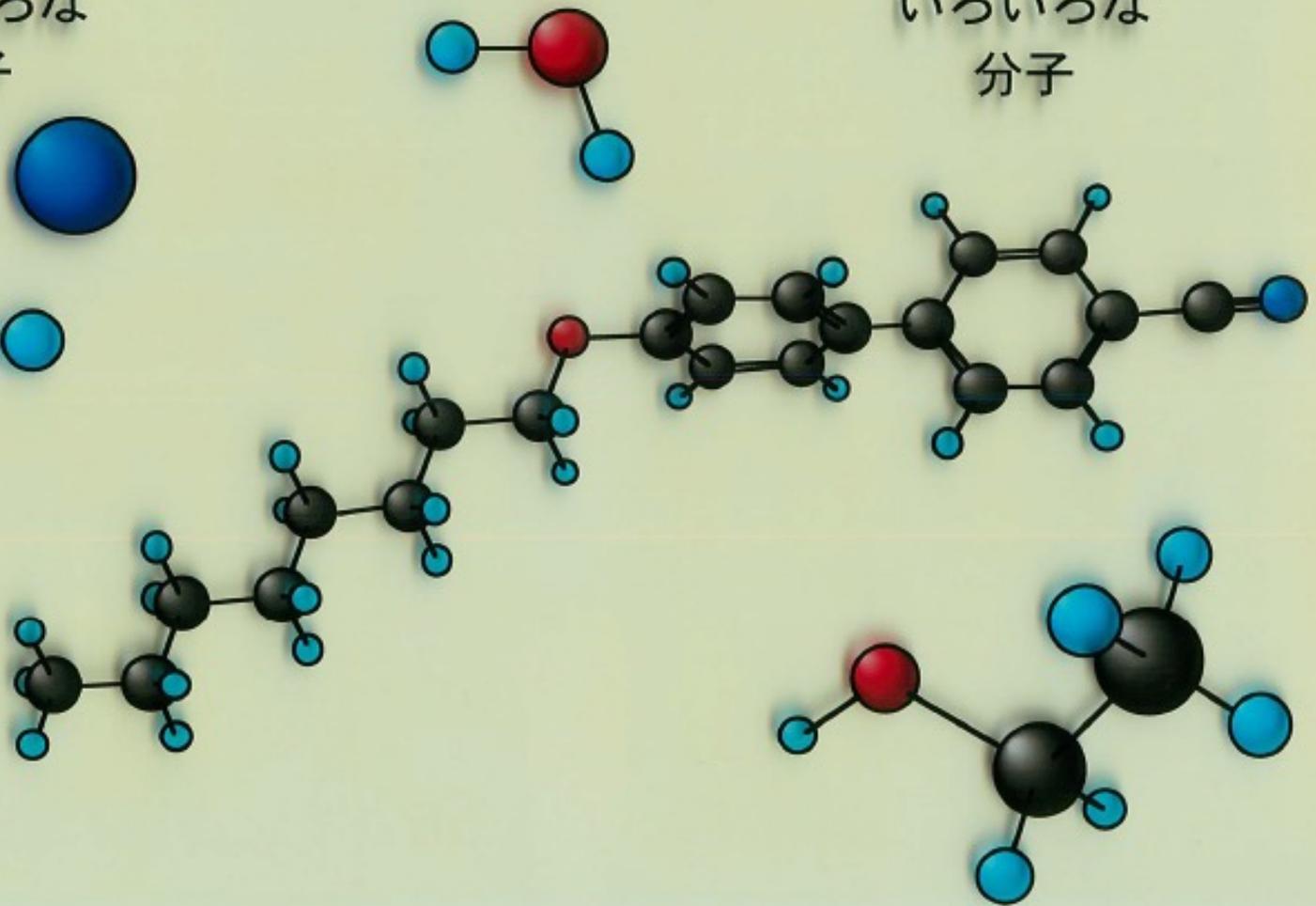


物質とは？

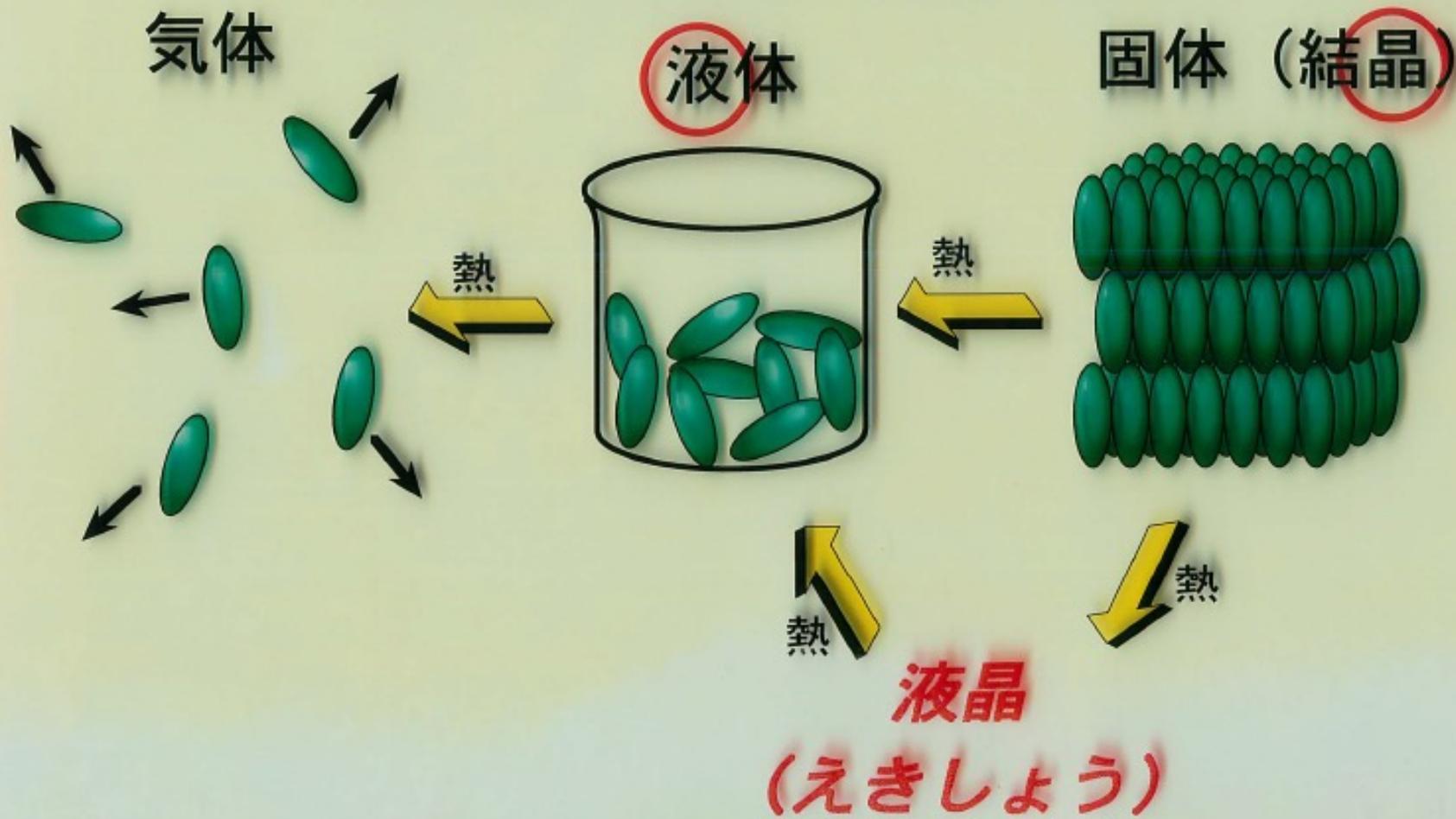
いろいろな
原子



いろいろな
分子



液晶ってな～に？



どんな並び方？



ゆらゆらしながら
回転している



だいたい同じ方向に
並んでいる



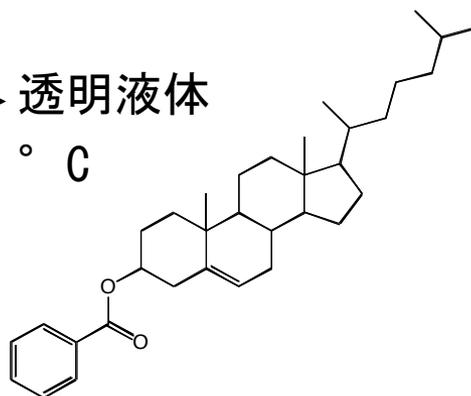
液晶研究の歴史

発見 1888年

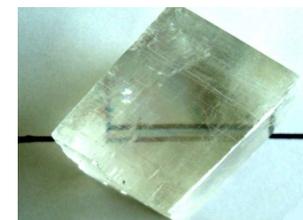
植物学者 Friedrich Reinitzer (Austria)

コレステロールの安息香酸誘導體

結晶固体 \longleftrightarrow 白濁液体 \longleftrightarrow 透明液体
145.5 ° C 178.5 ° C



F. Reinitzer (1888) "Beiträge zur Kenntnis des Cholesterins", *Monatshefte für Chemie* 9:421-41.



方解石

物理学（光学）による解釈 1889年

物理学者 Otto Lehmann (Germany) 光学組織（複屈折）の解釈

分子配向と流動性 Ordered fluid Fliessende Krystalle（流動性結晶）

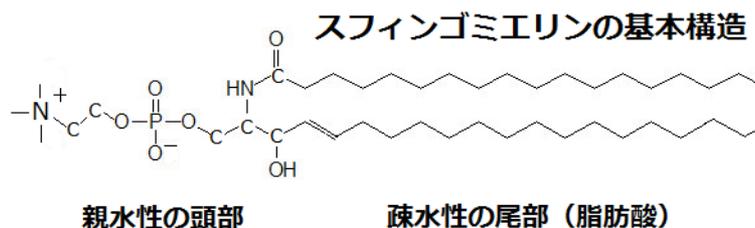
英語のliquid crystal（液晶）の語源

LCD: Liquid Crystal Display

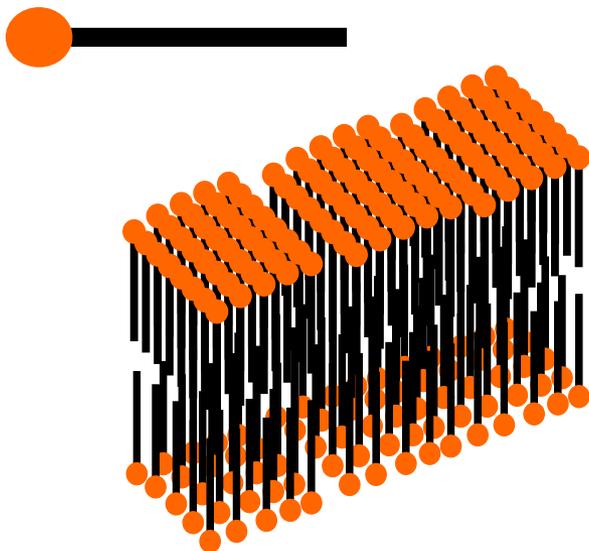
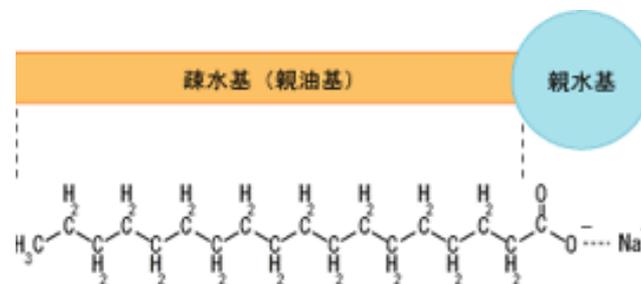
身の周りの液晶例

身近には水の中で作られるものも多い

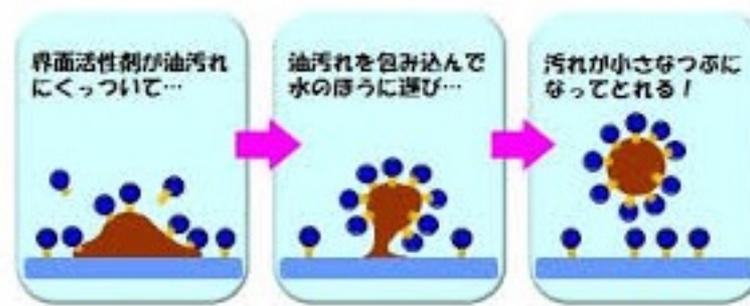
細胞膜 (脂質 2 重層)



石鹼 (界面活性剤)



油汚れが取れる機構



長距離秩序と短距離秩序

液晶ディスプレイ Liquid Crystal Display (LCD)



HDMI D



■イラスト作成用のペン
入力ディスプレイとして



■電子カルテ記入用途に



■ホテルのチェックイン時の
記帳用に

デジタイザーペン使用入力システム



羽田空港国際線ターミナル

36面マルチディスプレイ



家庭用TV

<http://www.sharp.co.jp>

薄型ディスプレイ=フラットパネルディスプレイを可能にした材料

データはどのようにして生まれるのか？

液晶性を持った有機半導体の研究

		例
電気伝導性	よく電気を流す	導電体 金属一般（銅線など）
	よくは流さないが電気を流す	半導体 シリコン Si （無機半導体）
	全く電気を流さない	絶縁体 ビニールテープ、 プラスチック、紙

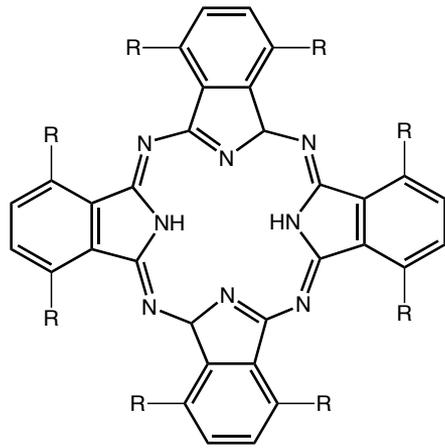
電気伝導度 $\sigma = N \times e \times \mu$

N: 流れる電子（ホール）の数
e: 単位電荷
 μ : 電子（ホール）の移動度

ホール：正電荷担体
担体をキャリアとも言う

無機半導体と有機半導体：原子の集合体か分子の集合体か

高速キャリア移動度を持つ液晶性フタロシアニン

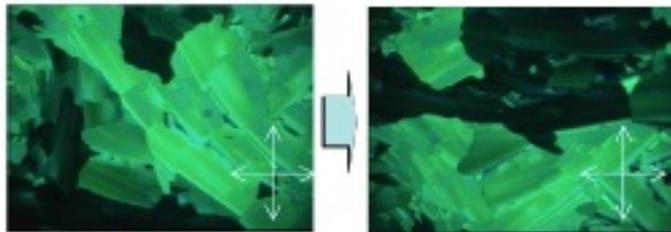


R = C₆H₁₃

C6PcH₂

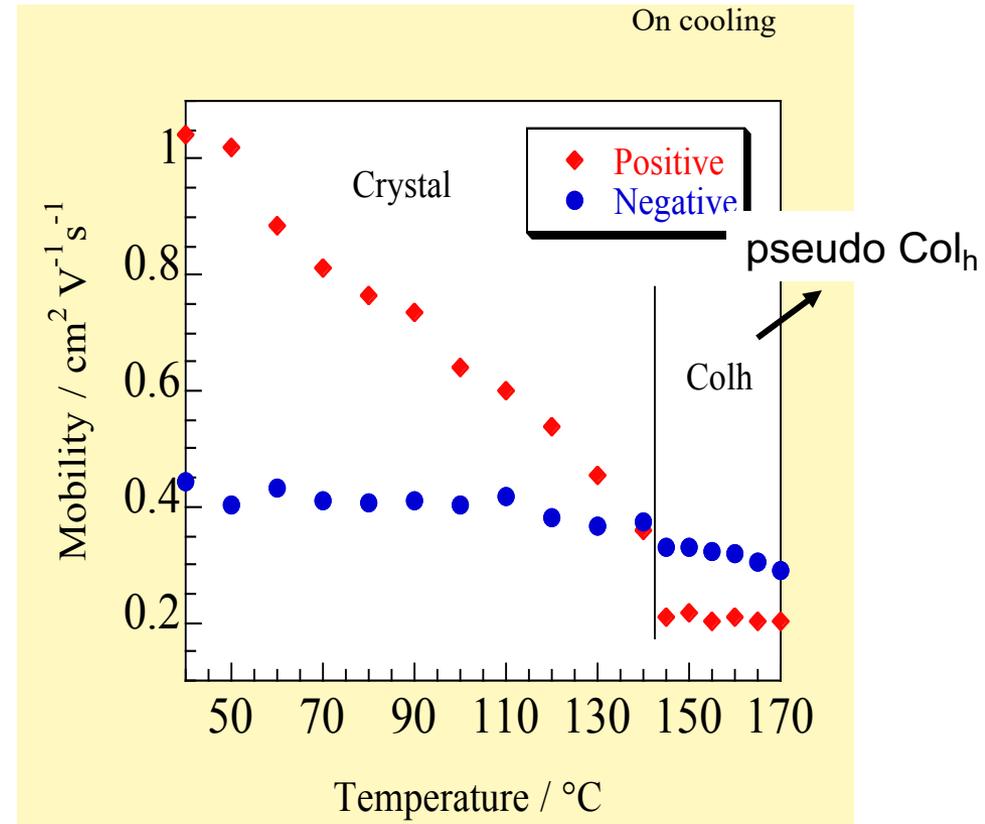
Cryst 161 ° C Col_h 171 ° C Iso

POM image



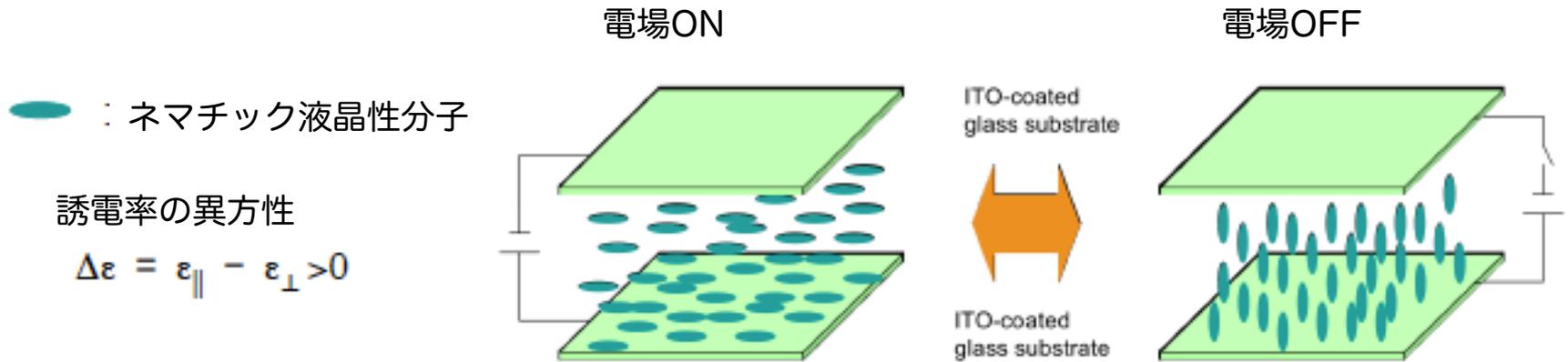
Rotated by 45 °

No homeotropic alignment is observed in the cell



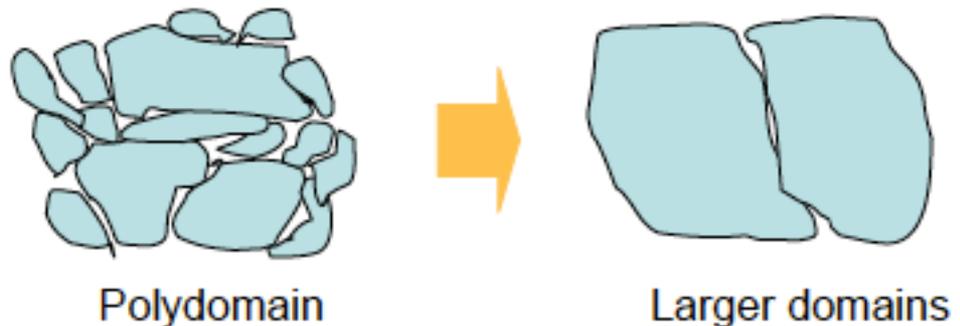
有機半導体における液晶性の利点

基板表面の化学修飾や電場印加による分子配向の制御が可能



液晶ドメイン（分子が一様に配向したかたまり）間の不整合の自発的解消

分子は動けるのでドメイン界面で連続的に繋がるように分子がうまく配向を調整できる



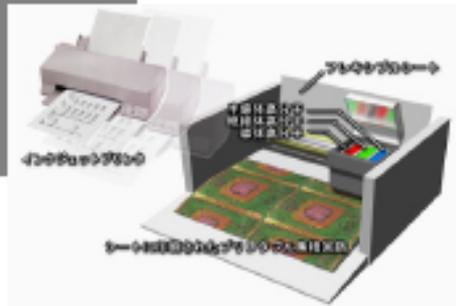
プリントドエレクトロニクス

Printed electronics

Flexible polymer substrate
roll - to - roll production

電子回路を印刷技術で作製する

-ink jet
-Micro contact print
-Screenprint
....



<http://www.s-graphics.co.jp/nanoelectronics/index.htm>

要求仕様

溶媒への可溶性

単一ドメイン化への自発的プロセス

高速キャリア移動度

化学的安定性と耐用性



Solar cells, batteries, smart card, digital signage, RFID, lightning, sensors, ...

必要な材料：半導体インク、導電性ペースト、フレキシブル基板、表面処理剤...

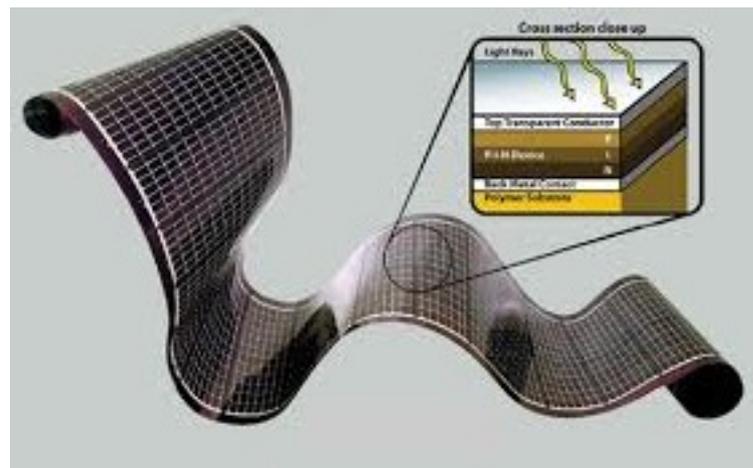
芳香族化合物（電子を流しやすい）の化学修飾による多様な材料の開発

新たな分子設計概念が必要

製品イメージ：フレキシブル 太陽電池



A large solar array



www.ecofriend.com



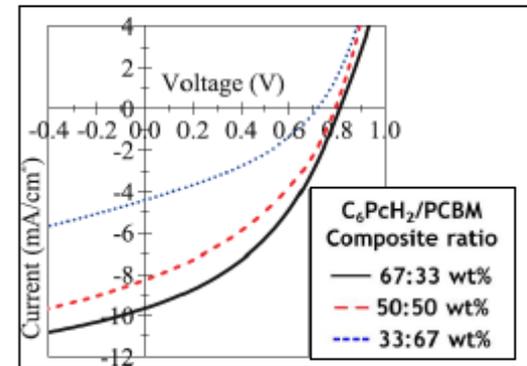
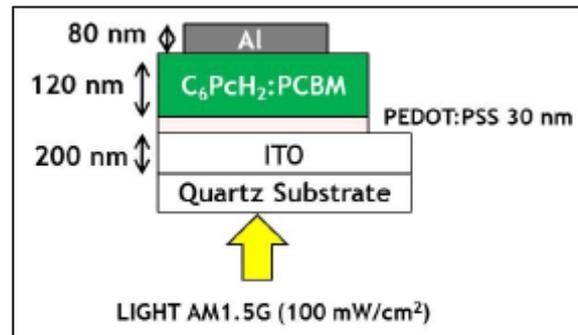
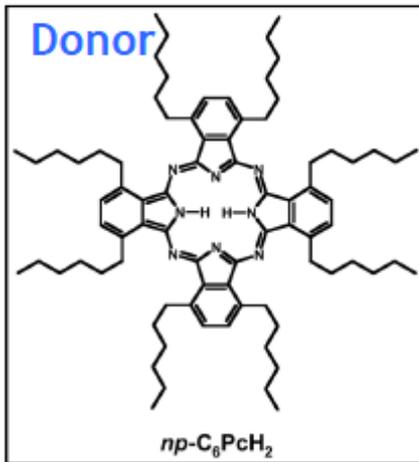
solarpower-mart.com

シリコンに替わるにはまだまだ

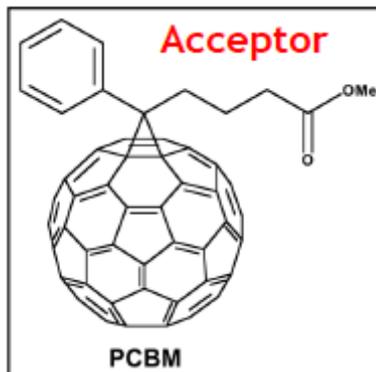
バルクヘテロ型 有機薄膜太陽電池

C₆PcH₂-PCBM 2成分の混合系

Fabrication and Measurements of Bulk heterojunction (BHJ) solar cells with C₆PcH₂/PCBM blends:



Current-voltage characteristics for different C₆PcH₂/PCBM composite wt% of the solar cells



Best cell performance

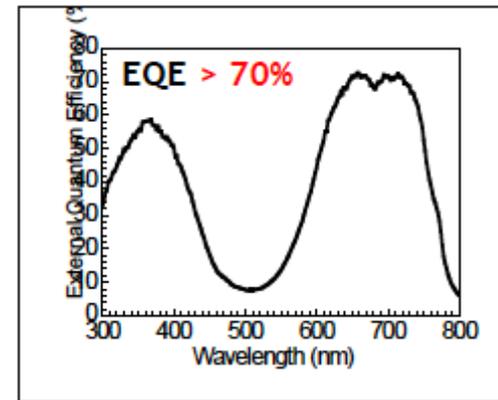
(2:1 wt%):

$$V_{oc} = 0.81 \text{ V}$$

$$I_{sc} = 9.6 \text{ mA/cm}^2$$

$$FF = 0.40$$

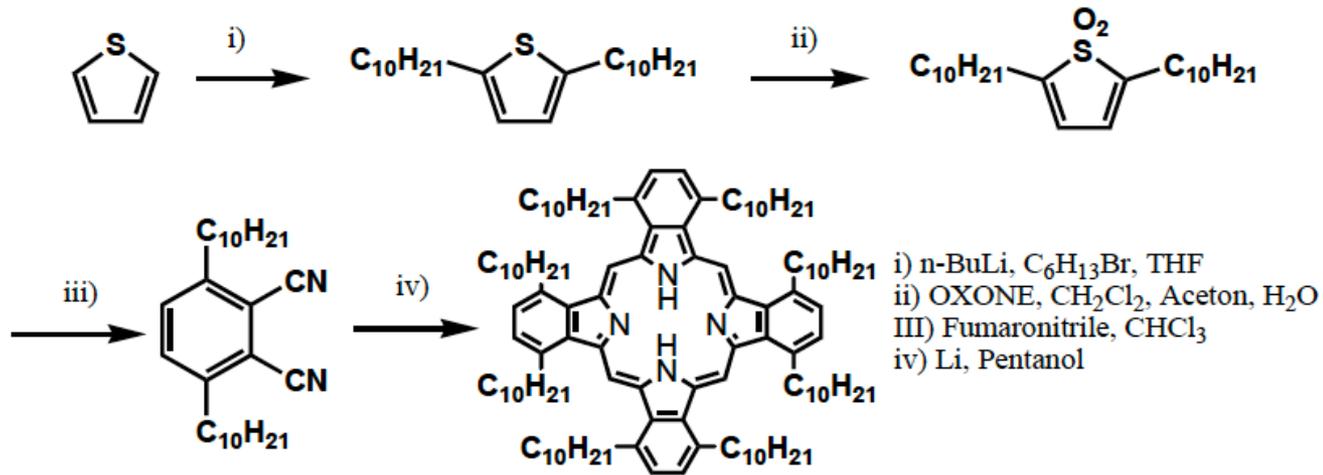
$$PCE = 3.1\%$$



External Quantum Efficiency spectrum of a solar cell with 67:33 wt% blend of C₆PcH₂/PCBM

合成と生成物の確認

Synthetic route:



J. C. Swarts, E. H. G. Langner, N. Krokeide-Hove and M. J. Cook, *J. Mater. Chem.*, 11, 434 (2001).

質量分析装置



分子一つの重さ（質量）を決める。

NMR（核磁気共鳴装置）



水素 (H) や炭素 (C) などの原子が互いにどのように結合しているかを決定する。

液晶性の解明

偏光顕微鏡



相転移に伴う液晶相の特徴的
光学組織（模様）を観察

判ること：
液晶相の種類を見分ける、
液晶中の分子の配向

熱分析



試料の温度を一定速度で上げ
下げし、相転移に伴うエネル
ギーの出入りを計測

判ること：
相転移の温度
とエネルギーの出入り

X線回折

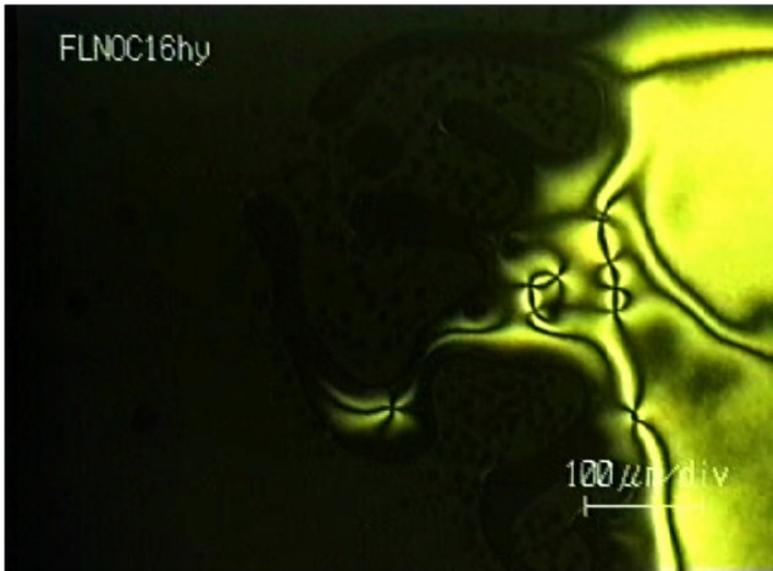


液晶状態にX線を照射し、規則正
しい分子の配向に基づいて散乱さ
れるX線を計測して配向構造を解
析

判ること：
液晶相転移の分子の配向構造

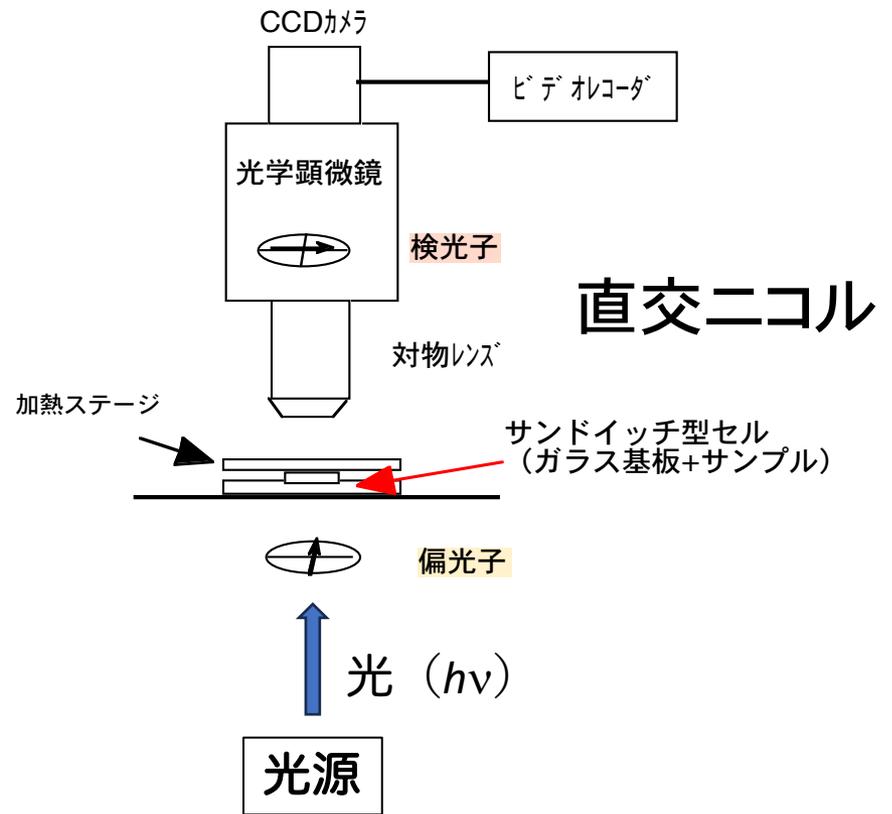
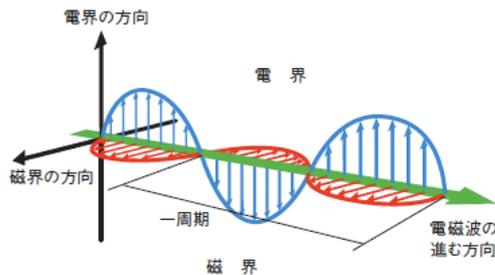
偏光顕微鏡による光学組織観察

液晶相に特有の光学組織（模様）を観る



ネマチック相 Schlieren組織

光=電磁波



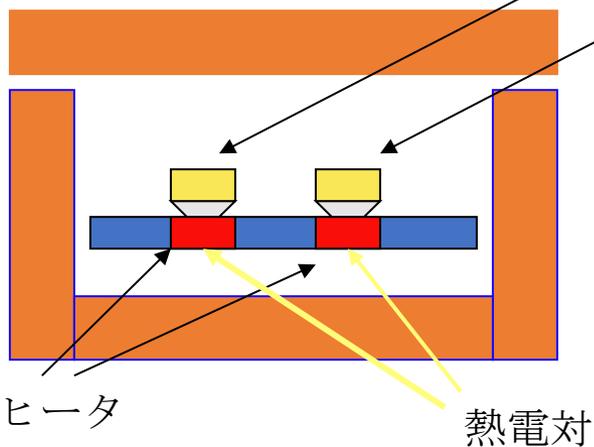


熱測定

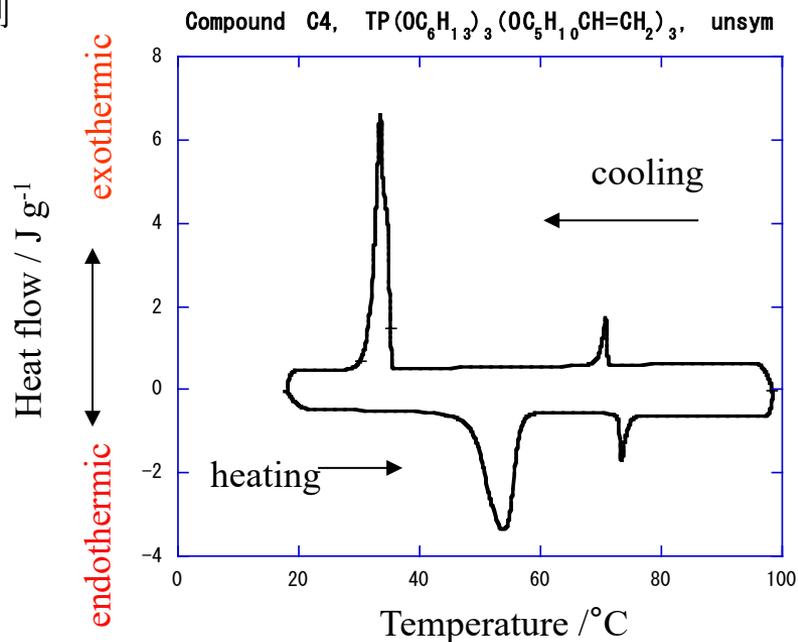
DSC: 示差走査熱量計

DSC炉

サンプルパン
(アルミニウム製)
試料側、参照側



温度の定速変化
(昇温、降温)
に伴う熱の出入りを測定



$$\Delta F = 0 = \Delta H - T \Delta S$$

相転移温度と転移エンタルピー、転移エントロピー

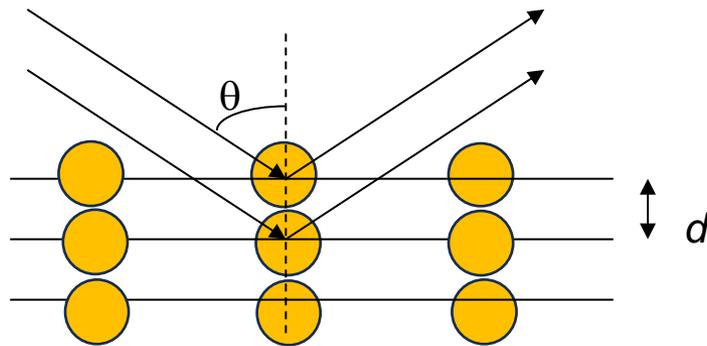
液晶相での分子の配向構造を決める

X線回折 (Bragg反射)

X線は電子と相互作用(原子核でない): 電子分布の周期性

cf. 中性子散乱 (Neutron scattering)

医療: レントゲンの世界 CT検査も



基板界面による液晶配向の制御

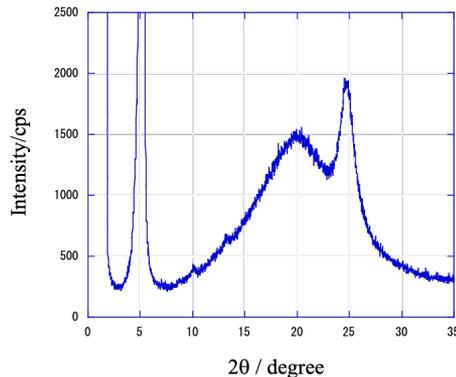
ブラッグの式

$$n\lambda = 2d\sin\theta$$

λ : X線の波長
 d : 面間隔
 θ : 反射角



Col_h 相



ポリイミドコート基板上の
プレーナー配向

X線

2D回折リング

ガラス基板上の
ホメオトロピック配向

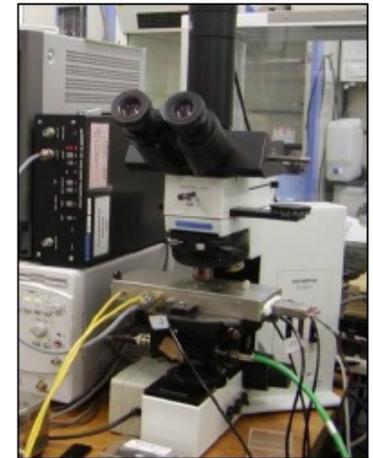
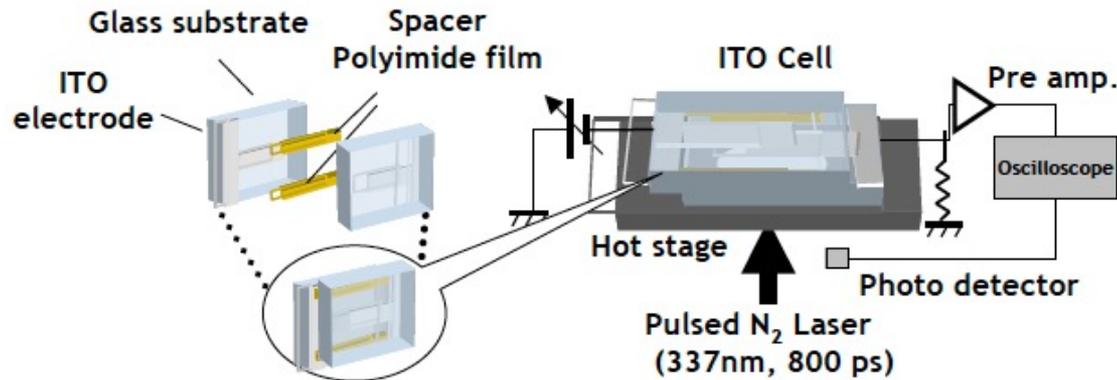
X線

2D回折リング

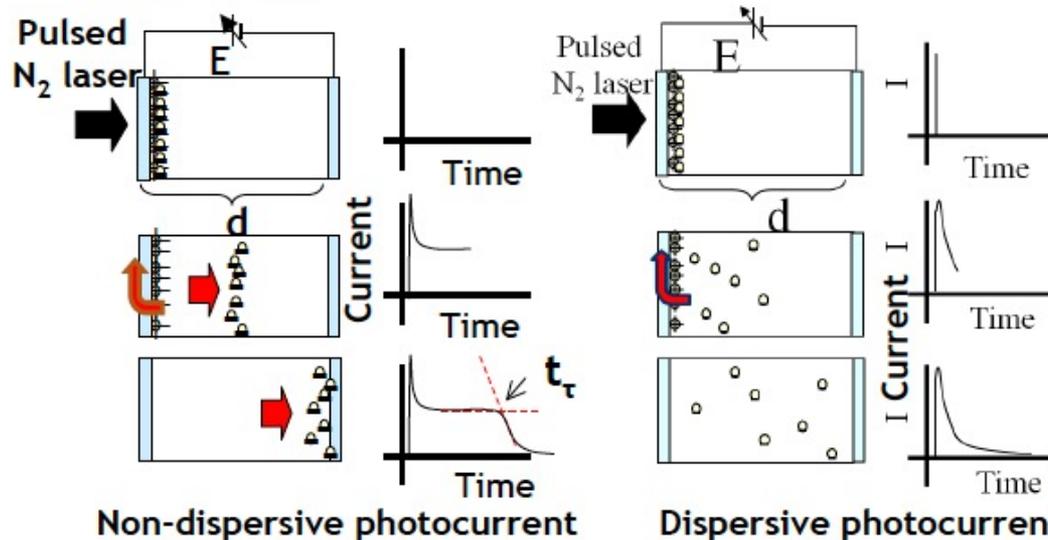
半導体特性の計測：キャリア移動度

(電荷が動く速さを計る)

飛行時間 (TOF : Time-Of-Flight) 計測法



$d = 10 - 20 \mu\text{m}$



$$\mu = d / (t_t \cdot E)$$

μ : Carrier mobility (cm^2/Vs)

d : Electrode distance (cm)

t_t : Transit time (s)

E : Applied field (V/cm)

測定したら、それはある経緯のあるデータ！！



経緯情報と得られたデータはセットでなければならない

データサイエンスをさらに進化させる

どうやってデータを集めるか？

今までの学術研究論文のデータを集める.....、とか
特定分野ではすでにあるレベルのデータベースが利用できる

液晶データベース: LiqCryst (登録化合物数100000、市販)
By 株式会社富士通九州システムエンジニアリング

物質・材料データベース:
結晶構造データベースCSD

By The Cambridge Crystallographic Data Centre (CCDC)
PolyInfo (高分子、ポリマー), Atom Work (無機材料), etc
By 国立研究開発法人物質・材料研究機構 (NIMS)

⋮

これからは？

測定機器で得られたデジタルデータを自動的に集約してデータベースを創る



令和3年4月

内閣府特命担当大臣（科学技術政策担当）

内閣府科学技術イノベーション会議

マテリアル革新力強化戦略案 概念図

「マテリアル革新力」（マテリアル・イノベーションを創出する力）を強化するための戦略を、
政府の重要戦略の一つとして、産学官関係者の共通のビジョンの下で策定

戦略策定の意義

ESG/SDGs意識の高まり

・マテリアルはカーボンニュートラルやサーキュラー
エコミー（循環経済）に直結
⇒ マテリアルの位置付けの高まり

社会実装が遅い

・社会を変える力を本来持つが、ドラスティックな
変化としては見えにくい
⇒ 早く世に出し、走りながら変えていく姿勢

国際状況

・技術覇権争いの激化、サプライチェーンの脆弱性、
EU環境政策等
⇒ 希少資源の確保や循環経済の重要性

我が国の強み（高い技術力、優れた人材、良質なデータ、高度な研究施設・設備、産学官の連携関係等）に立脚した差別化

目指すべき姿

マテリアル革新力を高め、経済発展と社会課題解決が
両立した、持続可能な社会への転換に世界の先頭に
立って取り組み、世界に貢献

- ・ Society5.0の実現
- ・ 世界一低環境負荷な社会システムの実現
- ・ 世界最高レベルの研究環境の確立と迅速な社会実装による国際競争力強化

アクションプラン

有識者会議等において、着実にフォローアップを実施するとともに、
政府と産学の有識者による一層の議論と連携により、不断に改善

○ 革新的マテリアルの開発と迅速な社会実装

- ・ バリューチェーンの上・下流／業種横断的／産学官からなる **社会課題解決型プラットフォーム**の推進（ロールモデル：CLOMA）
- ・ スタートアップ等が保有する未活用・埋没技術の活用促進
- ・ 重要なマテリアル技術 実装領域での**戦略的研究開発**の推進 等

○ マテリアル・データと製造技術を活用したデータ駆動型研究開発の促進

- ・ 良質なマテリアルの実データ、ノウハウ、未利用データの**収集・蓄積、利活用促進**（マテリアルDXプラットフォームの整備）
- ・ 製造技術とデータサイエンスの融合、革新的製造プロセス技術の開発（プロセスイノベーション・プラットフォームの構築）

○ 国際競争力の持続的強化

- ・ 資源制約の克服に向け、希少金属等の**戦略的なサプライチェーン全体の強靱化**（供給源の多角化・技術開発・設備導入支援等）
- ・ **サーキュラーエコミーの実現に向けた制度整備と技術開発・実装**（レア資源：2035年までに使用済プラ100%リユース・リサイクル等）
- ・ 産学官協調での**人材育成**（マテリアル分野の魅力向上、優秀な人材の確保、出口人材・データ人材の育成等）
- ・ **国際協力**の戦略的展開（国際ネットワークの戦略的構築、戦略的な標準化の推進等）

国の政策事業

マテリアル先端リサーチインフラ（ARIM）事業

ARIM: Advanced Research Infrastructure for Materials and Nanotechnology in Japan

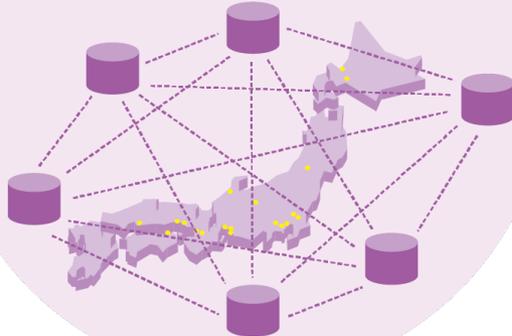
HP冒頭 <https://nanonet.mext.go.jp>

本事業では、皆様の研究開発を支援するため、全国の最先端設備の共用と技術サポートを行っています。また、得られた材料データを蓄積し、DX革命による新しい材料開発を目指しています。

大学・公的研究機関が所有する共用機器・設備の内外利用を通して科学・技術データを集める

マテリアル先端リサーチインフラ

全国25の大学・研究機関の先端共用設備を整備・高度化するとともに、共用設備から創出されたデータを利活用可能な形式で蓄積・提供



NIMS データ中核拠点

研究データをオープン・クローズ領域ごとにセキュアな環境で共有・活用し、AI解析までを可能とするシステムを実現

データ基盤
オープン領域
クローズ領域

科学・技術データを集積しこれからの研究開発に活用できるよう体制を整備する

データサイエンス型研究開発の導入、推進を行い、我が国の科学及び技術力の増強を狙う

データ創出・活用型マテリアル研究開発プロジェクト

従来の試行錯誤型の研究開発手法に、データサイエンス的手法を取り入れた次世代を担う拠点型研究開発プロジェクトを実施



他分野に先駆けた研究DXの新たな方法論による社会課題解決

- カーボンニュートラル
- Well-being社会
- Society5.0
- レジリエンス国家

令和3年~

ARIM事業



全国25法人の参画
(大学法人、国立研究開発法人等)

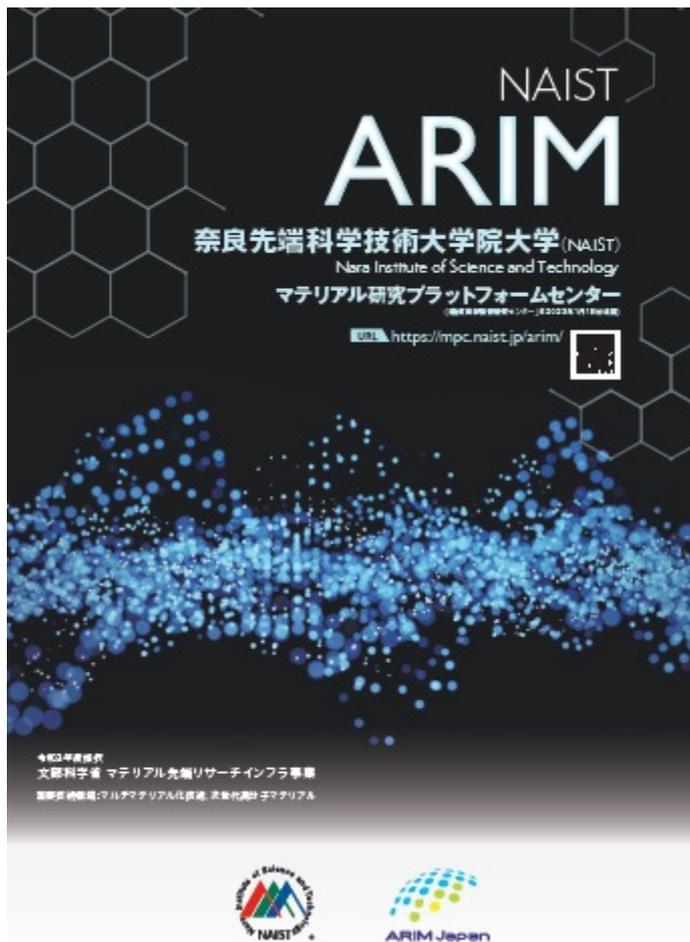
7つの重要技術領域をカバー

- ・ 高度なデバイス機能の発現を可能とする材料
- ・ 革新的なエネルギー変換を可能とする材料
- ・ 量子・電子制御により革新的な機能を発現する材料
- ・ 材料の高度循環のための技術
- ・ 次世代バイオ材料
- ・ 次世代ナノスケール材料
- ・ マルチ材料化技術・次世代高分子材料

内閣府、文科省、経産省：
重要技術領域における研究
開発、令和4年2月)

ナノテクノロジープラットフォーム事業
を礎に

NAISTにおけるARIM (NAIST-ARIM) 事業



実施責任者：河合 壯 教授 (物質創成科学領域)
 以下、教員 5 名、技術職員 7 名、同補佐員 2 名、事務局 2 名
 支援事務職員：研究協力課等多数

支援提供機器			
下記の機器がご利用いただけます。詳細はホームページをご覧ください。			
核磁気共鳴・電子スピン共鳴			
種別・種別名	500MHz NMR	400MHz 固体・溶液 NMR	600MHz NMR
メーカー・型式	日本電子 JNM-ECZ100Z	日本電子 JNM-ECZ500P	日本電子 JNM-ECZ600
種別・種別名	電子スピン共鳴装置 (ESR)		
メーカー・型式	日本電子 JES-FA100N		
電子顕微鏡			
種別・種別名	多機能分岐伝導電子顕微鏡 (SEM)	300kV 超高電子顕微鏡 (TEM)	200kV 超高電子顕微鏡 (TEM)
メーカー・型式	日本電子 JEOL-IT500	日本電子 JEOL-3100CF	日本電子 JEOL-3100FS
種別・種別名	定常型 超高電子顕微鏡 (STEM)	超高分岐型 非対称電子顕微鏡 (TC-STEM)	超高分岐伝導電子顕微鏡 (SEM)
メーカー・型式	日立ハイテック HD-2730	日立ハイテック SU6600	日立ハイテック SU6600
顕微鏡装置			
種別・種別名	X線顕微鏡装置	電子線顕微鏡装置	ダイナミック光顕微鏡装置
メーカー・型式	Uteco SmartLab6kW/PHYN	Uteco VarMax 8ARD SA-Micro7	日本電子 DLS-6300
分光・表面分析			
種別・種別名	多機能 定常型 X線光電子分光分析装置 (XPS)	大気中光電子分光装置	顕微鏡レーザーラマン分光装置
メーカー・型式	アビオのファイブ PH-5000/VenusProbe-II	顕微鏡装置 AC-3	日本電子 NRS-4100-20
種別・種別名	電子線マイクロアナライザ (EDMA)	円二色性分析装置 (CD)	光ダイナミック分光装置
メーカー・型式	島津製作所 EPMA1610	日本分光 J-1530	技術種目上げ
質量分析			
種別・種別名	マトリックス支援レーザーイオン化 Spiral 飛行時間質量分析装置	二極形質量分析装置	LC/TOFMS 飛行時間質量分析装置
メーカー・型式	日本電子 JMS-700 MSStation	日本電子 JMS-T100LC AccuTOF	日本電子 JMS-T100LC AccuTOF
種別・種別名	LC/TOFMS 高分解能飛行時間質量分析装置	マトリックス支援レーザーイオン化 飛行時間質量分析装置	二次イオン質量分析装置 (SIMS)
メーカー・型式	日本電子 AccuTOF Ultima III, DART/VSQ/CIAPD	アビオのファイブ autoFAB-II	アビオのファイブ ADPT-1010
デバイス特性			
種別・種別名	微小デバイス特性評価装置	分光顕微鏡・内部電子顕微鏡装置	非破壊電気特性評価装置 (PPMS)
メーカー・型式	日立ハイテック N56000	会社特設 CDP-3000EP	オムロンシステム PRMS DerCoolE
止音室・プローブ装置			
種別・種別名	定常プローブ装置		
メーカー・型式	日立ハイテックシステム SPAS60		
その他分析装置			
種別・種別名	元素分析装置・高精度 熱重量分析装置	分光エリプソメーター	顕微鏡付顕微鏡装置
メーカー・型式	日立ハイテックシステム DSC 7000/STA 7300	オムロンシステム UVSP-SE AGMS-NSD	島津製作所 ET300
種別・種別名	元素分析装置	元素分析装置	元素分析装置
メーカー・型式	パーキンエルメラー 2400E CHNS/O		

提供機器：33機種、年間対応研究課題：40件以上 (民間企業を含む)

NAIST-ARIM HP: <https://cmp.naist.jp/arim/>

マテリアル研究プラットフォームセンター (CMP)

CMP: Center for Materials Research Platform

2023年1月発足

センター長：浦岡行治教授（物質創成科学領域）
以下、教員14名、技術職員10名、技術補佐員4名、事務補佐員1名
（兼務を含む）

CMPの設立趣旨

材料を制するものは世界を制する！という格言が示すように、材料開発をめざす物質科学は、人類の繁栄にとって最も重要な分野です。特に、激化した国際競争において、日本にとって材料科学はこれまでも、そしてこれからも力をいれていくべき分野です。（NAIST-CMPHPより）

文科省：研究設備・機器の共用推進に向けたガイドライン（令和4年3月）

**マテリアル研究@NAISTにおける
研究環境の質の高度化による革新的研究成果の創出力の強化
それによるより高質の教育環境の提供**

大学院
先端科学技術研究科

データ駆動型サイエンス
創造センター

情報科学領域

バイオサイエンス領域

物質創成科学領域

総合情報基盤センター

生命科学研究基盤センター

デジタルグリーンイノベーションセンター

マテリアル研究プラットフォームセンター（CMP）

CMP: Center for Materials Research Platform

2023年1月発足

CMPの組織構成と役割

目的に向けた効率的実務推進のために

研究環境のデジタル化推進！

マテリアルデジタル研究推進部門

マテリアル研究のデジタル化整備の方向性を研究を通じてCMPの実施施策に反映させる中核ステージ

データ利活用
デジタル化体制牽引
(電子ノート導入等)

共通機器・設備の高度な整備及び効率的運用による高付加価値化推進！

マテリアルファシリティー共用部門

技術職員と教員の組織化された協働ステージ

設備・機器整備
デジタル化対応
ARIM事業等学外連携推進

学内外との多様な連携による大学機能の高度化と高付加価値化の推進！

連携推進部門

科学技術と教育をベースとしたマテリアル研究の連携による社会貢献力の強化ステージ

学外連携推進
(学学、民学、公学、海外)
制度整備

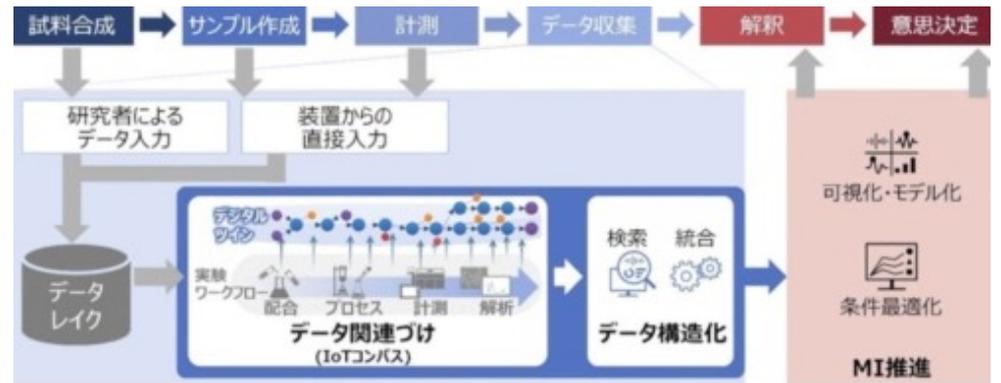
ARIM事業等公的事業には組織として取り組む！

DX: 世の中の動きは加速

企業間で材料開発を協業、実験をデジタル化

社会連携の意味合いはさらに深化、増幅する

新たな**共創**へ



日経クロステックより

CMP マテリアル研究におけるプラットフォーム構築と自己増殖

基礎研究 \longrightarrow 必要なもの、技術への展開
連携

研究活動のデジタル化とAI等情報技術の連携



実証主義的社会科学への貢献も視野に
県立橿原考古学研究所、国立奈良文化財研究所

異分野融合&連携：社会科学への貢献

20220910-11日本文化財科学会第39回大会@千葉大

“日本最古の文字”の科学的分析

—田和山遺跡出土土製品のアラマン分光分析を中心に—

Scientific analysis of “Japan's oldest characters”

岡見知紀 (榎原考古学研究所)、清水洋 (奈良先端科学技術大学院大学)、岡島康雄 (同左)、山垣美恵子 (同左)

○Tomoki OKAMI(Kashihara Archaeological Institute), Yo SIMIZU (Nara Institute of Science and Technology), Yasuo OKAJIMA, Mieko YAMAGAKI

はじめに

田和山遺跡は、弥生時代の環壕集落で、平成9年から平成12年にかけて市立病院建設に伴い7年間の調査が行われた。注目すべき遺物としては、環壕より出土した砂岩製石製品があり、浪郡出土の長方形板石硯石と形態が類似していることから硯の可能性が指摘されている。今回分析対象となる資料は、1-c環壕8区黒色土から出土した石製品で、発掘当初の報告で砥石とされてきたが、近年の調査で硯の可能性が指摘された⁽¹⁾。その際に石製品裏面に文字みられる黒色付着物が確認され、“日本最古の文字”ではないかと話題をよんだ資料である。一方で、整理作業の際に用いられるバインダー液が付着した痕跡が確認できることなどから、生時代当初に書かれた文字であるかどうか慎重な調査が必要となっている。本研究では、この黒色付着物が墨であるか、バインダー液などコンタミの影響があるのか、科学的な分析手法を用いて検討した。

分析の方法と結果

分析には、アラマン分光分析のほか、赤外線カメラ・スキャナーによる撮影、走査型電子顕微鏡 (SEM) による観察およびエネルギー分散型X線分光 (EDS) による成分分析、負ミュオン非破壊分析等の方法で実施した。赤外線による撮影は、松江市および榎原考古学研究所によりそれぞれ実施したが、いずれも文字とされる黒色付着物は確認できなかった。また、SEM観察で、墨に特徴的なナノレベルの粒子構造は確認できなかった。一方で、EDSでの成分分析で、黒色付着物の部分で炭素が顕著に検出された。さらに、負ミュオン分析では深さ10μmまで炭素が染みこんでいるが確認できた⁽²⁾。以上の結果、EDSおよび負ミュオン非破壊分析で炭素付着が確認できたが、赤外線撮影で確認できないことやSEMで粒子が確認できないことから、可能性は低い。そこで、アラマン分光分析を用いて詳細な成分分析を実施した。

共同通信

<https://nordot.app/940728834279653376>

読売

<https://www.yomiuri.co.jp/culture/20220909-OYT1T50084/>

朝日 (有料)

<https://www.asahi.com/articles/DA3S15411058.html><https://news.yahoo.co.jp/articles/6efcf7de24af129cfa07e46beaeb88449e633b41>

毎日 (有料) <https://mainichi.jp/articles/20220908/k00/00m/040/299000c>

<https://mainichi.jp/articles/20220909/ddm/012/040/129000c>

NHK

<https://www3.nhk.or.jp/lnews/matsue/20220909/4030013816.html><https://www3.nhk.or.jp/lnews/nara/20220909/2050011615.html>

TBS

<https://newsdig.tbs.co.jp/articles/-/148518?display=1>

2023/04 奈良文化財研究所 庄田先生&英国ヨーク大学共同研究者来訪



ご清聴ありがとうございました