

# 圧力や摩擦を検知可能な メカノクロミック発光性薄膜

---

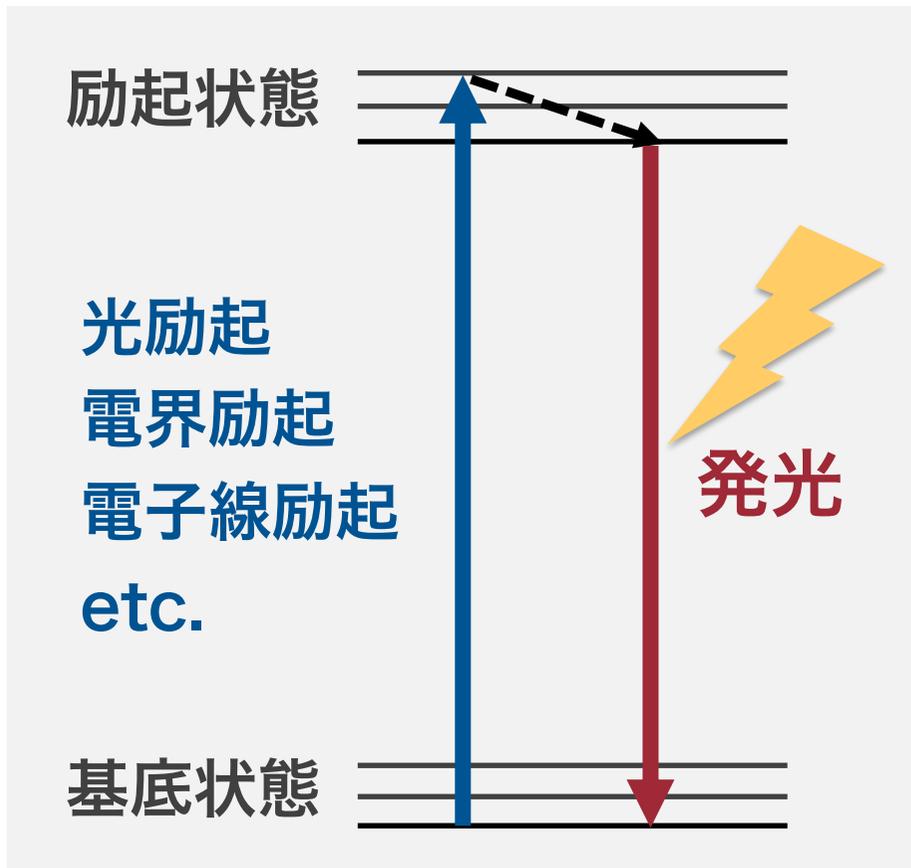
横浜国立大学 大学院工学研究院

機能の創生部門 准教授

伊藤 傑

# 発光の原理と利用

発光 = 外部から得たエネルギーを光として放出



## 利用例：

- ◆ フォトルミネッセンス (光励起)  
…ディスプレイ、蛍光プローブなど
- ◆ エレクトロルミネッセンス (電界励起)  
…発光ダイオード、有機ELなど
- ◆ カソードルミネッセンス (電子線励起)  
…ブラウン管など

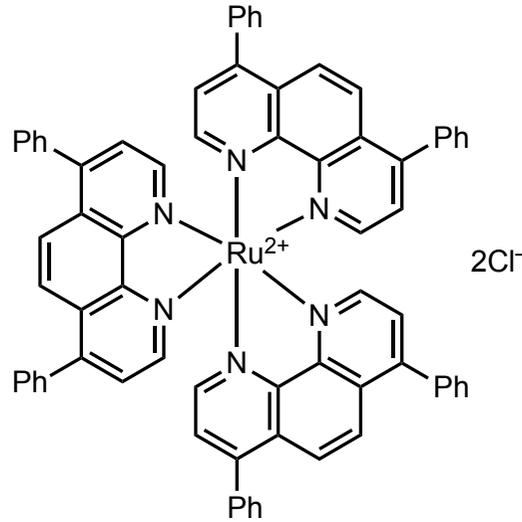
励起方法の異なる発光が様々な分野で利用されている

# 圧力・摩擦検知の必要性

## 従来の感圧塗料

-航空分野で実用化-

金属錯体の酸素消光  
→圧力分布を可視化



## 研究開発の必要性

圧力・摩擦の刺激に**直接応答**して  
光による出力が変わる**有機材料**

※特徴：高感度、高空間分解能  
軽量、低コスト、低毒性

### 航空宇宙分野

空力特性の確認  
強度特性解析

### ロボット分野

触覚センサー  
摩耗状態の検知

### 医療分野

ウェアラブル診断  
人工関節・人工筋肉

### 情報通信分野

偽造防止技術  
暗号通信技術

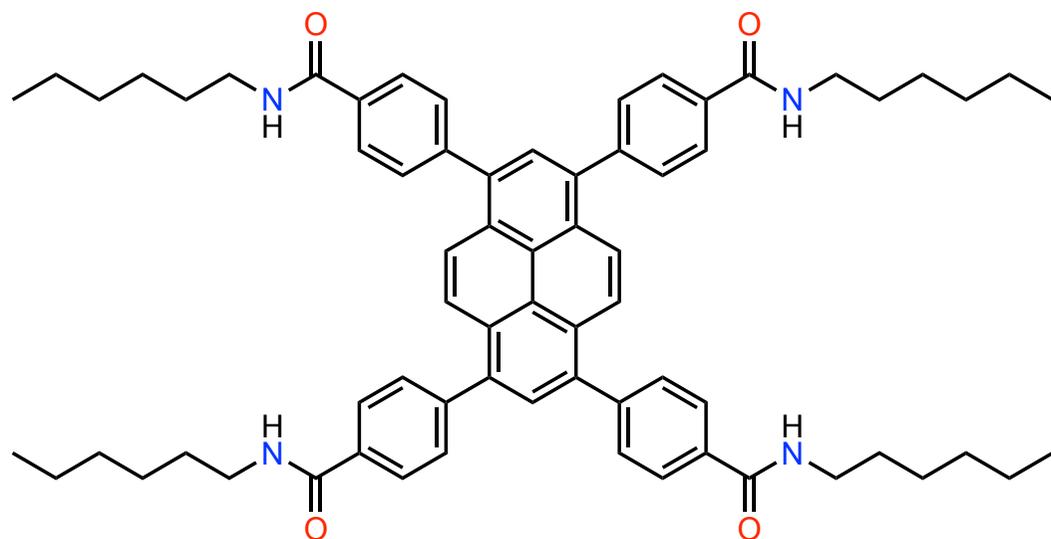
### 防災分野

構造物の劣化検知  
地震予知研究

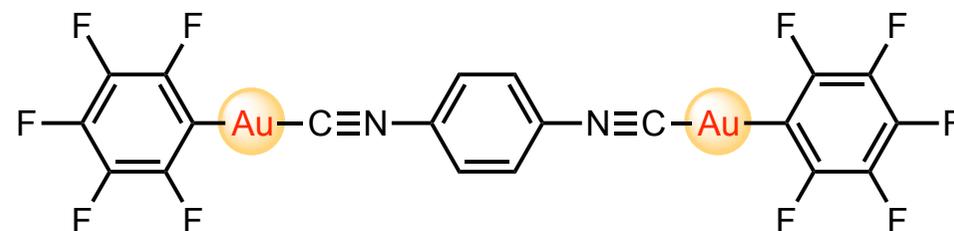
圧力・摩擦検知は  
様々な分野で  
必要とされている

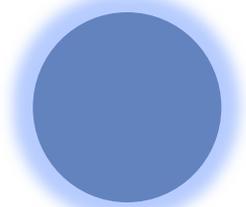
# メカノクロミック発光

こするなどの機械的刺激で固体発光色が変化  
加熱や有機溶媒の曝露で元の発光に戻る

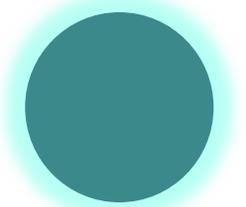


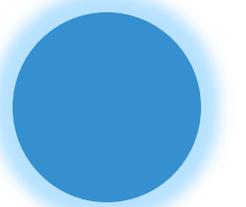
特許第5697030号



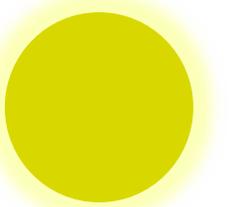
  
青紫色発光

こする  
加熱

  
青緑色発光

  
青色発光

こする  
有機溶媒

  
黄色発光

Araki, K. *et al.*

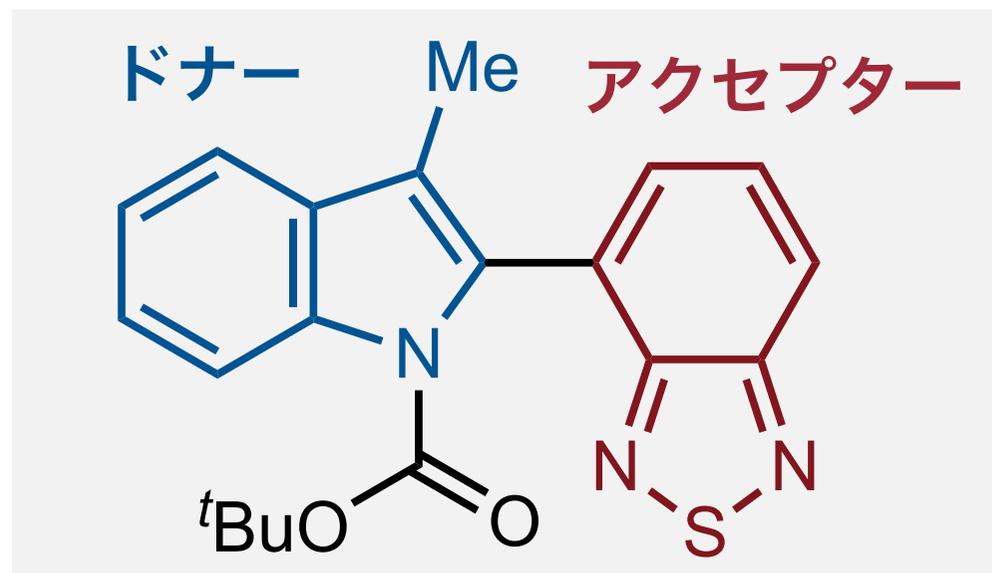
*J. Am. Chem. Soc.* **2007**, 129, 1520.

Ito, H. *et al.*

*J. Am. Chem. Soc.* **2008**, 130, 10044. 4

# 従来技術 (1)

自己回復性メカノクロミック発光を示す有機分子結晶を開発



電子ドナー性と電子アクセプター性の複素環同士を直結した構造の分子

← 機械的刺激により変化した発光色が室温下で自発的に元の発光色に戻る

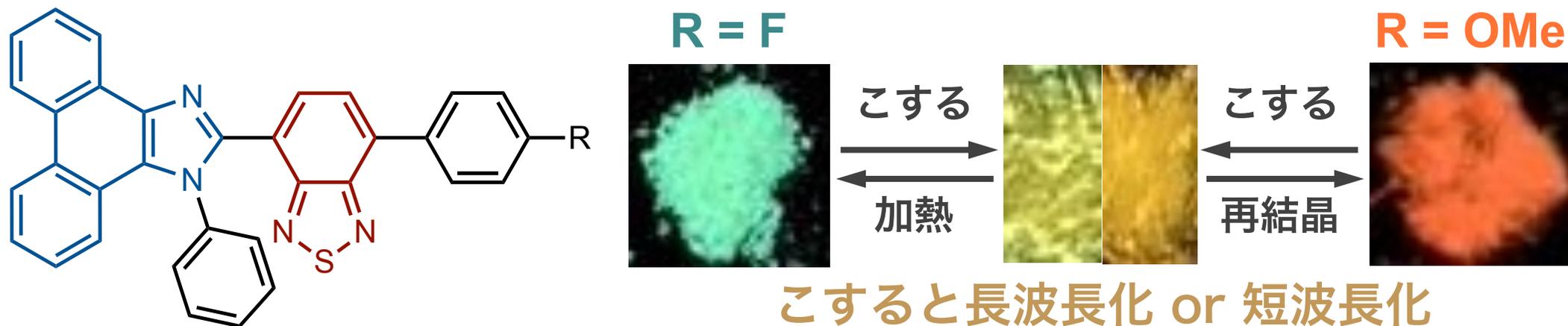
Ito, S.; Yamada, T.; Taguchi, T.; Yamaguchi, Y.; Asami, M. *Chem. Asian J.* **2016**, *11*, 1963.

Ito, S.; Taguchi, T.; Yamada, T.; Ubukata, T.; Yamaguchi, Y.; Asami, M. *RSC Adv.* **2017**, *7*, 16953.

特許第6521728号, 第6663820号 (権利者: 横浜国立大学)

# 従来技術 (2)

## ■ フェナントロイミダゾール誘導体



Nagai, S.; Yamashita, M.; Tachikawa, T.; Ubukata, T.; Asami, M.; Ito, S. *J. Mater. Chem. C* **2019**, 7, 4988.

## ■ トリフェニルイミダゾール誘導体



Ito, S.; Nagai, S.; Ubukata, T.; Ueno, T.; Uekusa, H. *Cryst. Growth Des.* **2020**, 20, 4443.

# 従来技術の問題点

## 従来のメカノクロミック発光結晶 = 単結晶や結晶性の微粉末

- ・ 大きさが不均質であり制御困難
- ・ 結晶ごとに機械的刺激への応答性が異なる
- ・ 任意の形状への成形や加工が困難
- ・ 高分子材料に混合すると刺激応答性を失う

# 新技術の特徴

## メカノクロミック発光結晶のみからなる薄膜

- ◆ ドナーとアクセプターをリンカーで繋いだ新分子
- ◆ 繊維状結晶の集合体からなる**均質な薄膜**
- ◆ 再沈法により簡便に調製可能
- ◆ **自立し折り曲げ可能**
- ◆ 紫外線を照射すると蛍光発光
- ◆ **圧力や摩擦の刺激により蛍光発光の色が変化**
- ◆ 分子構造に応じて発光色と刺激応答性を調整可能

# 競合技術との比較

## 発光センサーの優位性

非接触で計測できる利点があり、光吸収に基づく比色センサーよりも1000倍以上高感度となる点においても有利である。

## 従来のひずみゲージや圧力センサーとの比較

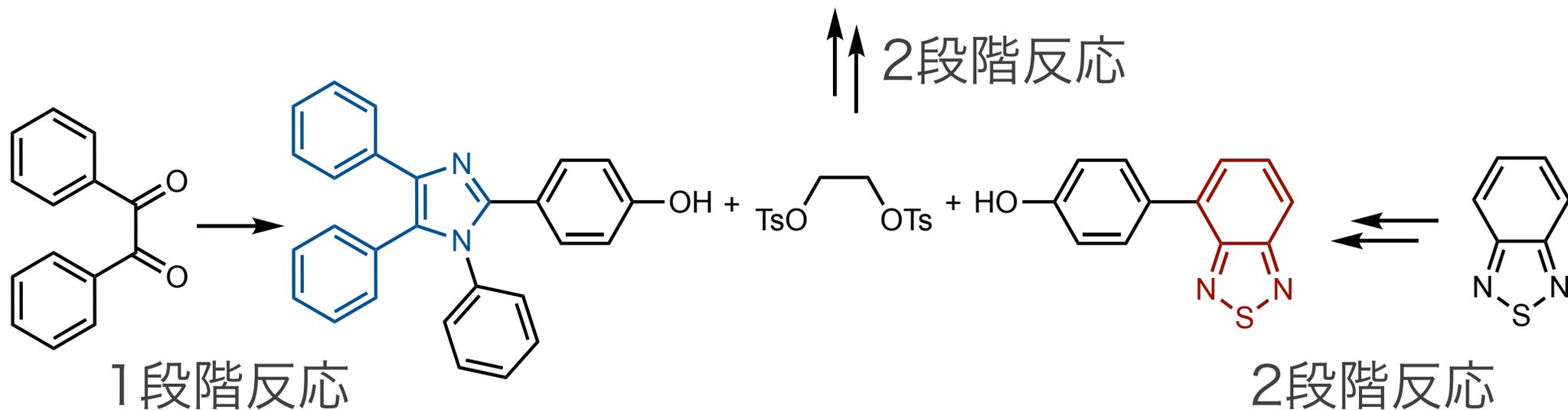
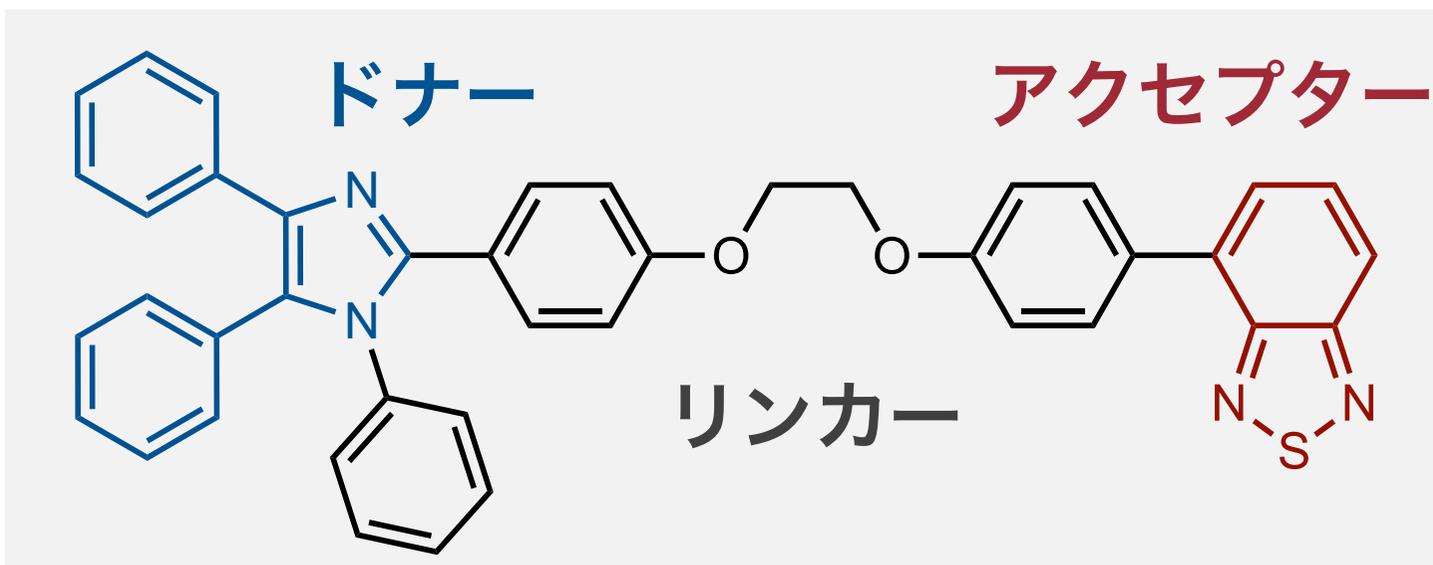
金属の電気抵抗を利用したひずみゲージや、光ファイバの特性を利用したセンサーが開発されているが、測定可能な対象物の形状に制限があり、亀裂発生時にセンサーが断線することも問題となる。

## 応力発光との比較

圧力を加えるのみで発光する「応力発光」は、構造物センシングや応力発光印刷などとして実用化研究が進められている。本技術は、圧力が加わった後でも光照射により読み出し可能である。応力発光性セラミックスと同様な塗膜化による応用を期待できる。

# 分子設計・合成

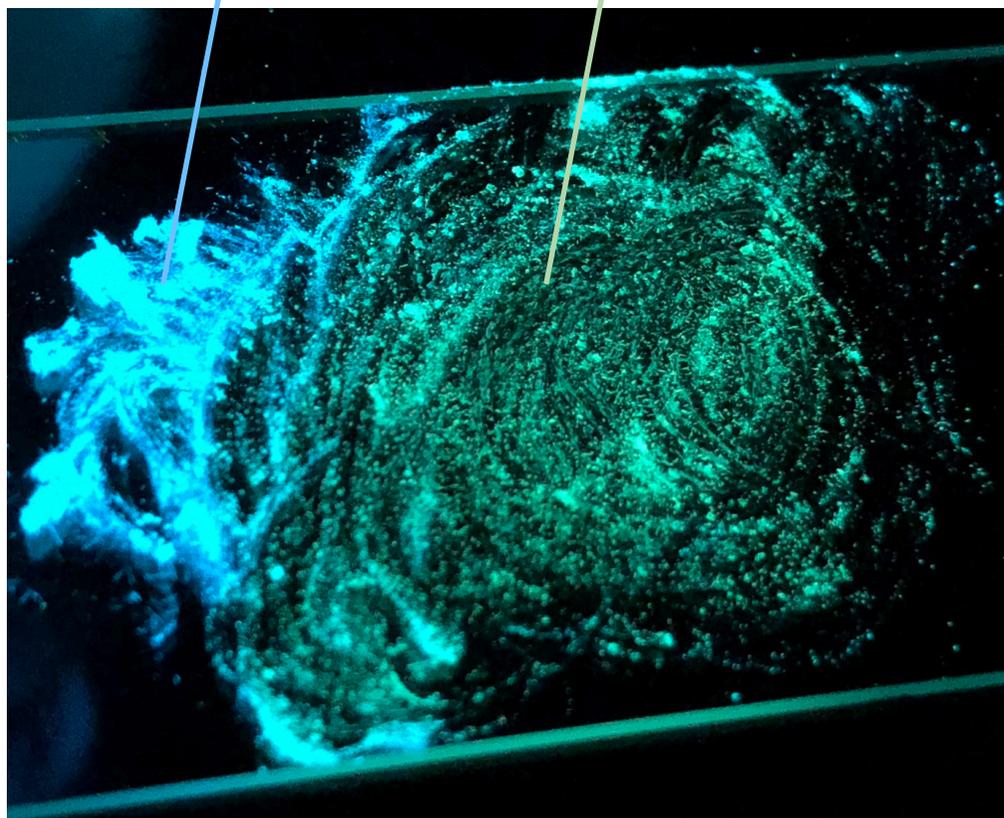
ドナー部位とアクセプター部位をリンカーで連結する新設計



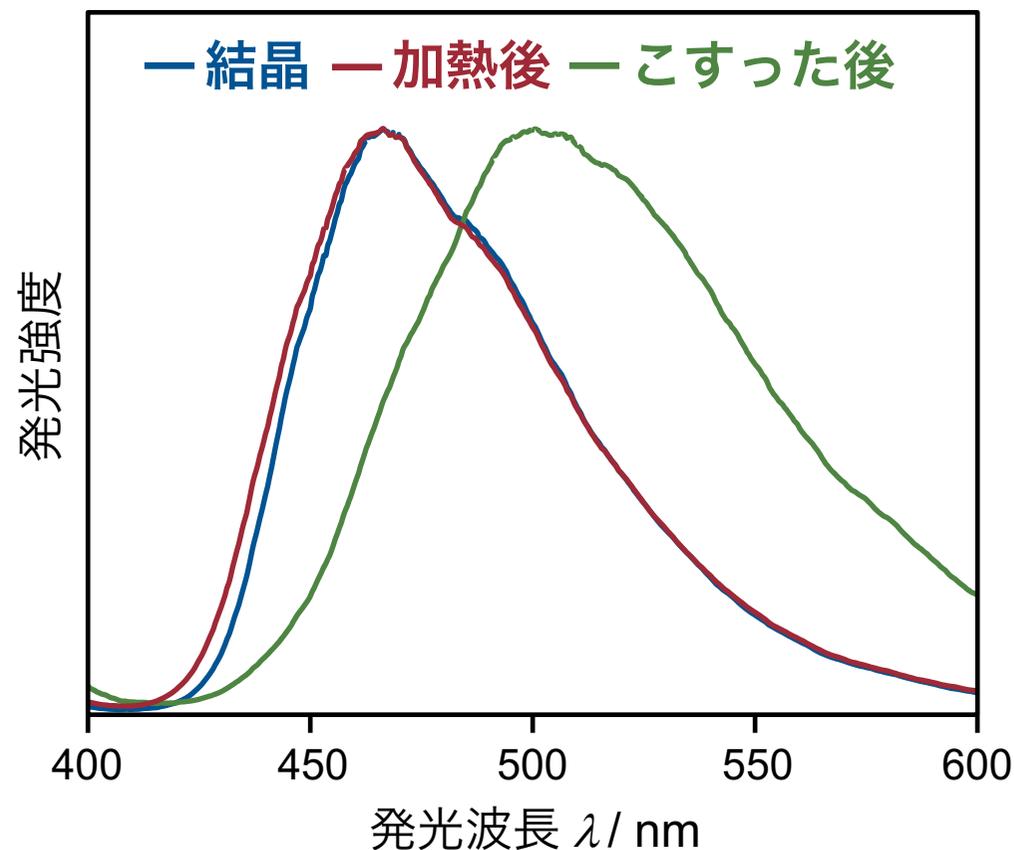
# 発光色の変化

結晶性粉末

こすった後



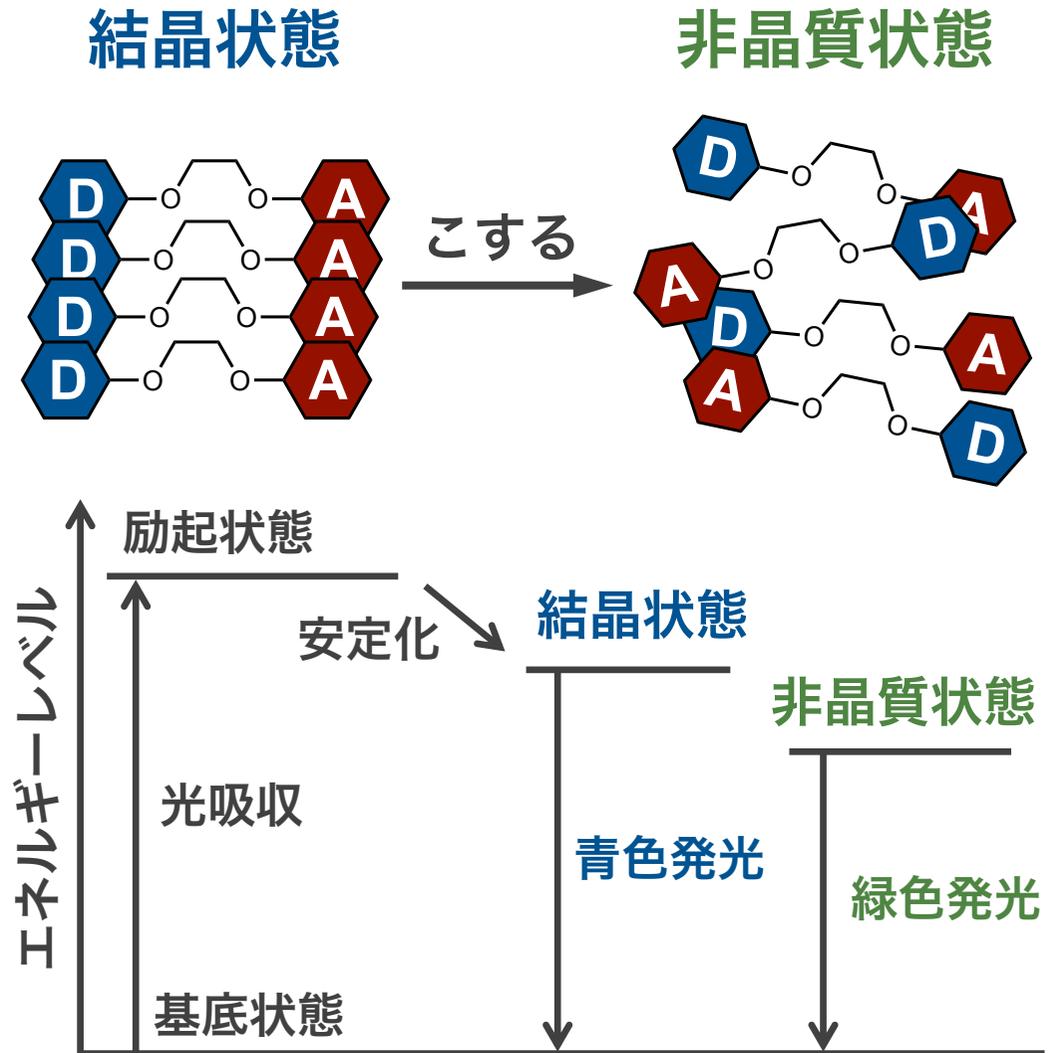
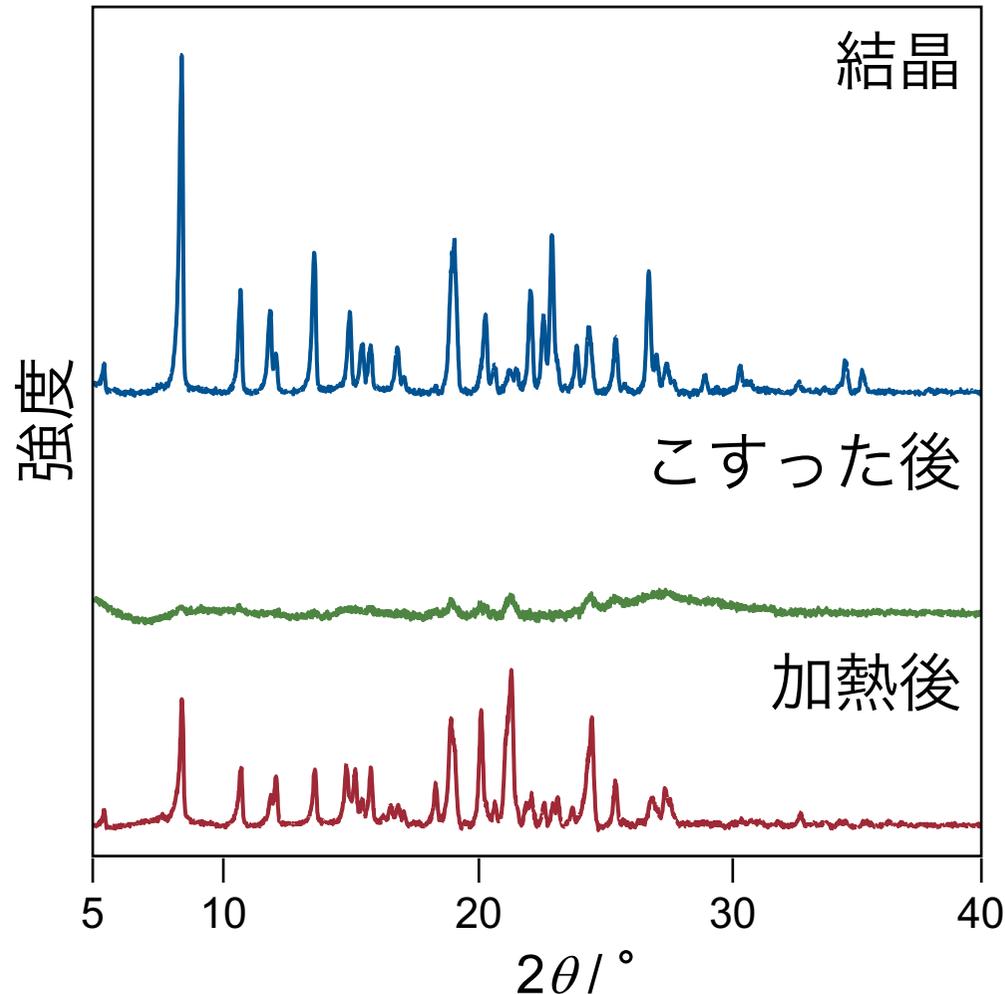
蛍光スペクトル



薬さじでこすると蛍光発光色が変化 & 加熱で戻る

# 発光色が変わる機構

## 粉末X線回折パターン



ドナー(D)とアクセプター(A)の相互作用が増大して励起状態が安定化 12

# 再沈法による結晶化

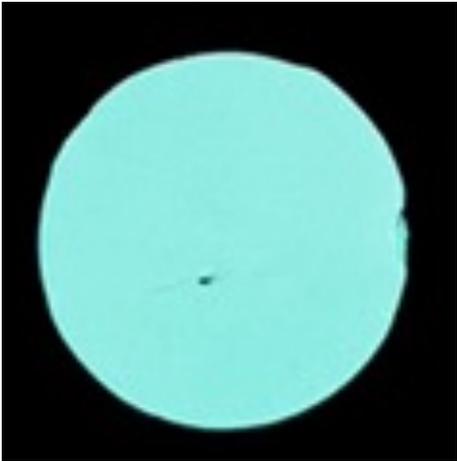


貧溶媒に溶液を滴下

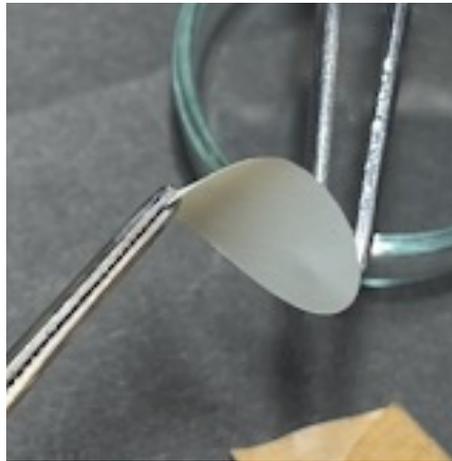
沈殿生成・回収

# 薄膜の物性

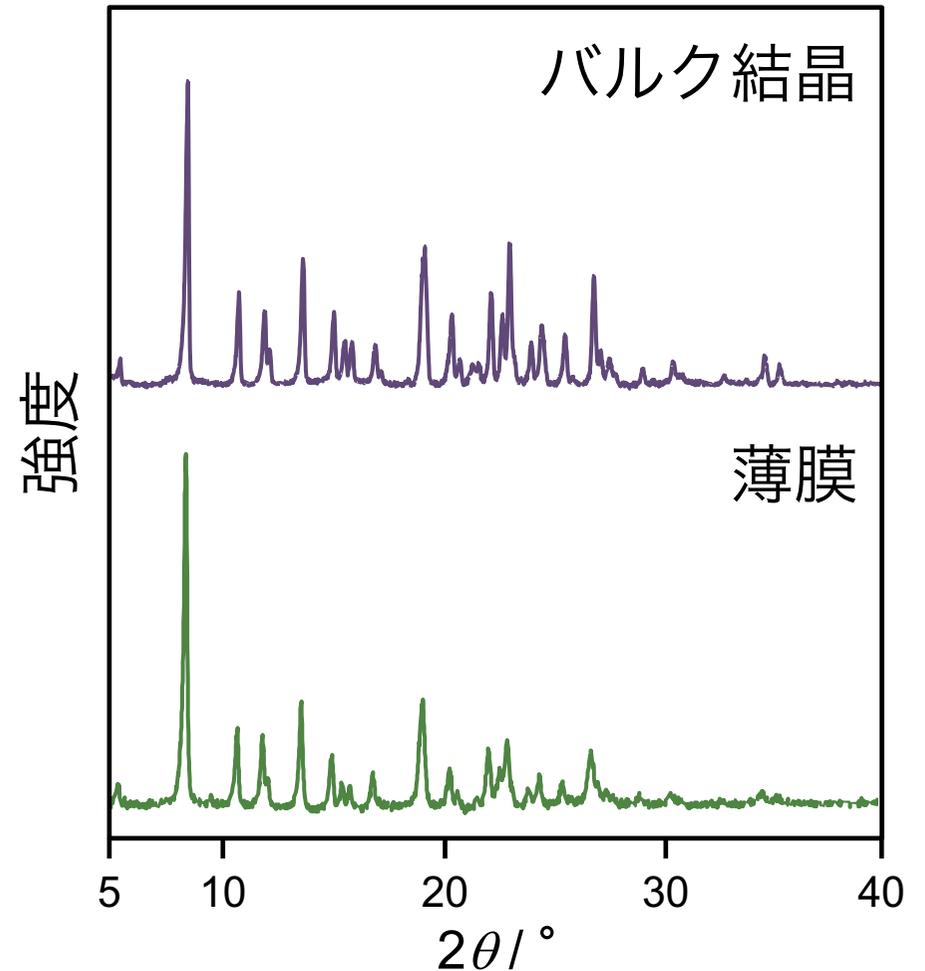
青色発光



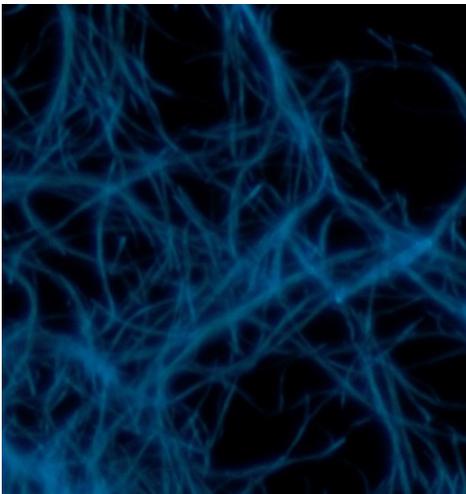
折り曲げ可能



粉末X線回折パターン



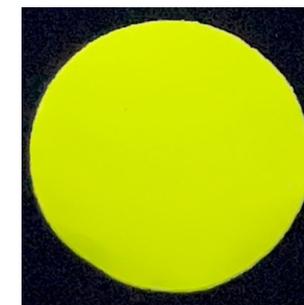
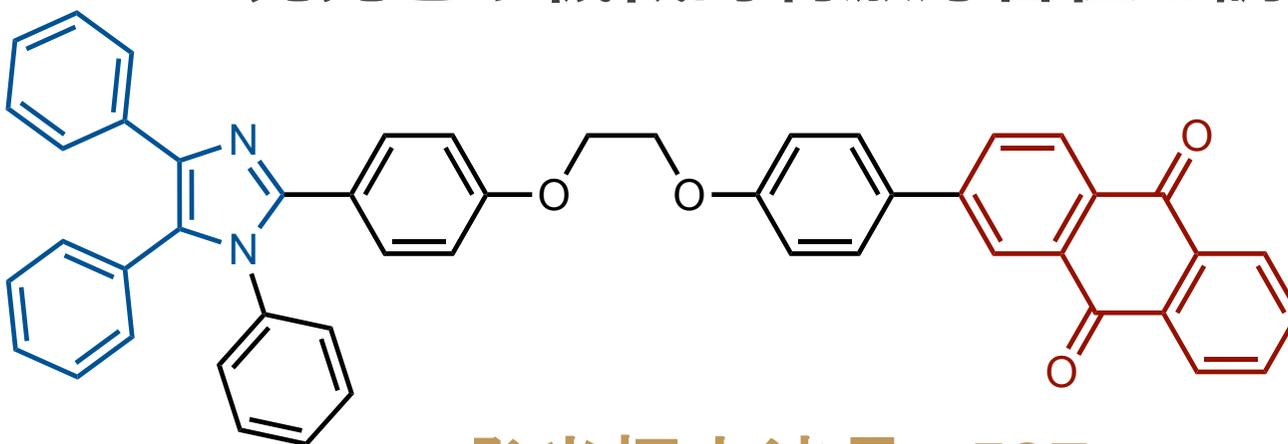
繊維状結晶が  
薄膜化



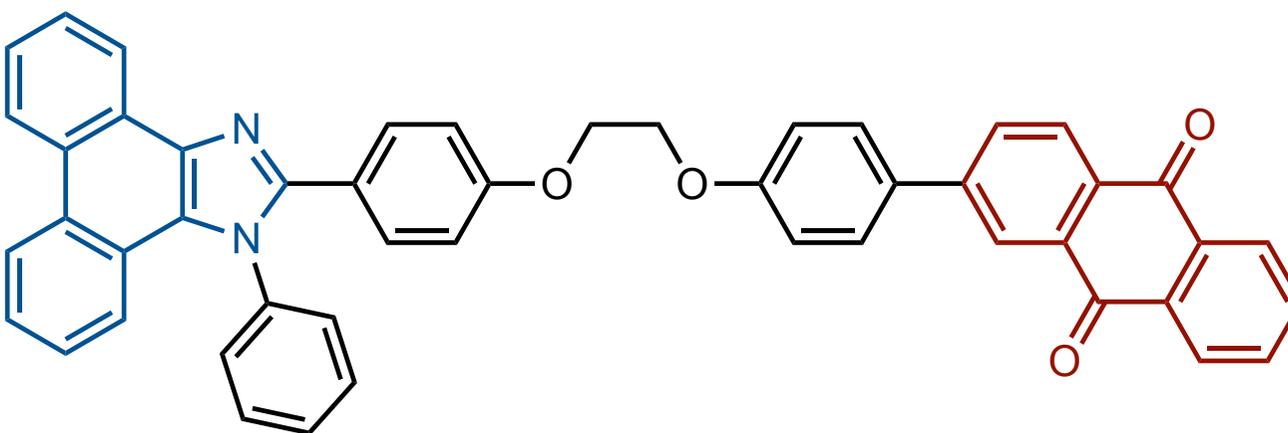
薄膜の結晶性を確認

# 発光色と応答性の調整

分子構造を変更しても薄膜化  
→発光色や機械的刺激応答性を調節可能

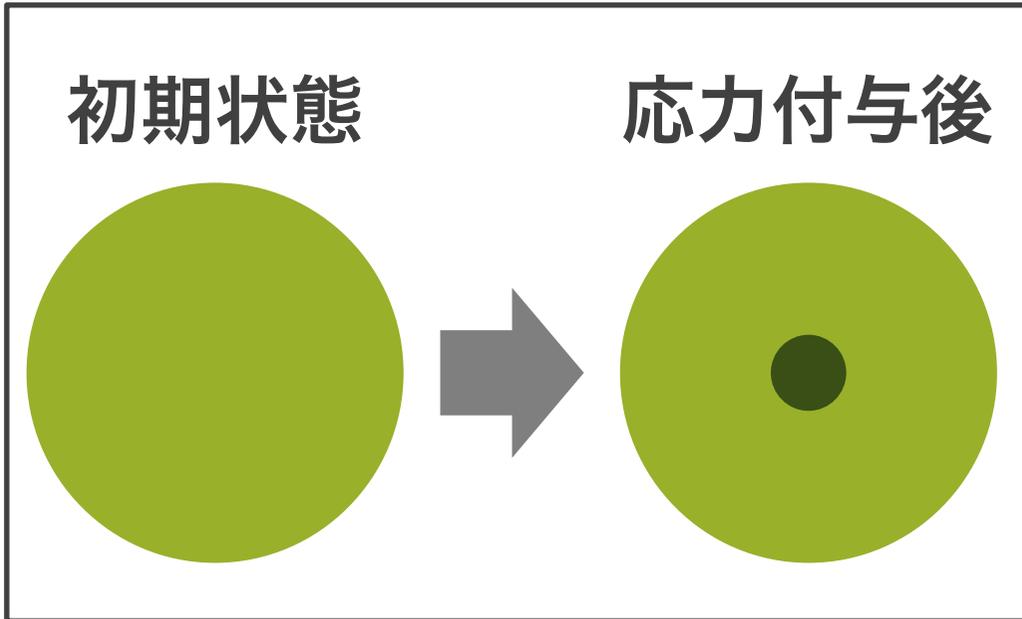


発光極大波長: 537 nm



発光極大波長: 591 nm

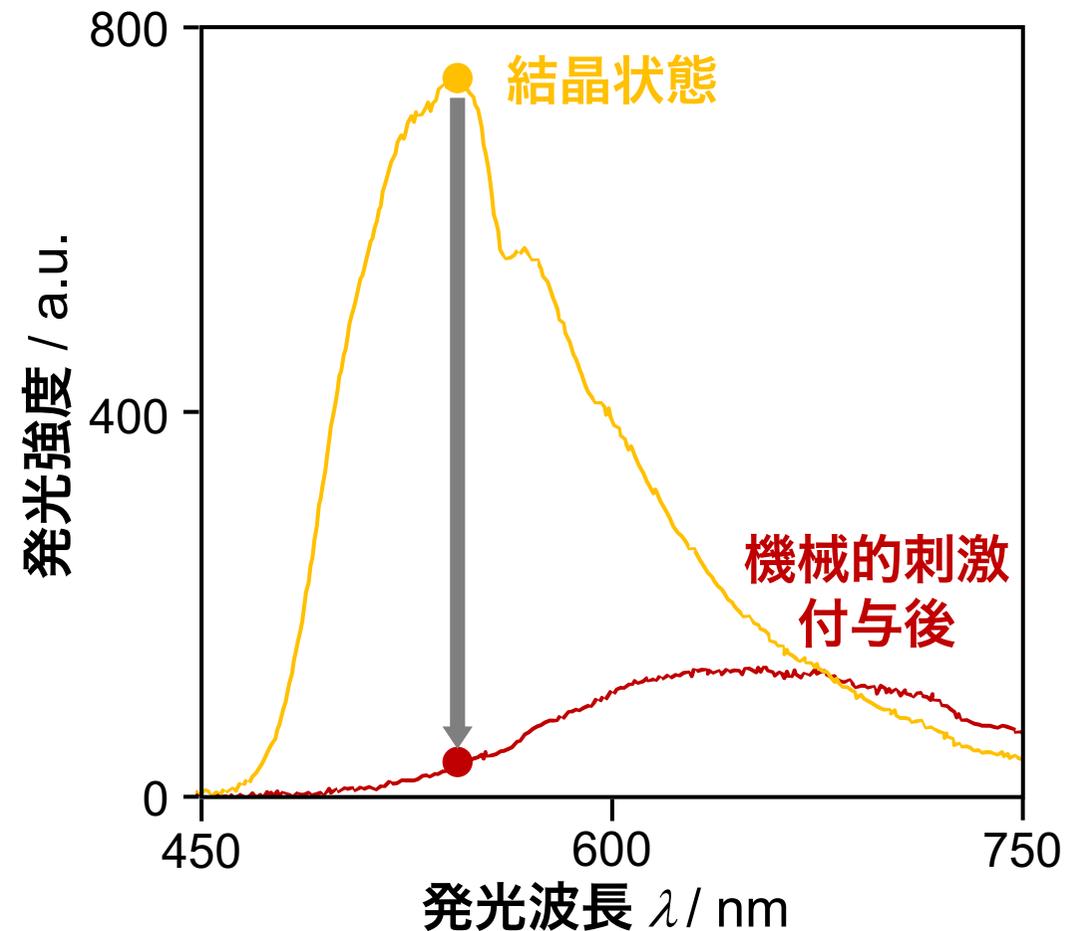
# 応力検知への応用



応力を加えた部分のみ  
発光強度が大きく低下

➡ 応力検知への応用

## 蛍光スペクトル



# 想定される用途

---

## 圧力や摩擦を光信号として検出するフィルム

- ・ 微細領域に加わる圧力や歪みの定量的計測
- ・ ウェアラブル触覚センサー
- ・ 生体材料に加わる局所圧力の可視化
- ・ 次世代産業機械等の開発における摩耗検知

## 発光表示デバイス、セキュリティ印刷

- ・ 圧力により書き込み可能な端末
- ・ 偽造防止や暗号化を行える特殊印刷

# 実用化に向けた課題

- ・ 従来の粉末材料と比較すると均質性の高い薄膜であるが、圧力や摩擦の定量的な検知のためには、高品質化が必要となる。
- ・ 自立するが機械的強度をさらに高めることが望まれる。
- ・ 具体的な用途や利用形態が定まっていない。
- ・ 圧力や摩擦による発光変化を定量的に解析する技術を確立する必要がある。

# 企業への期待

---

- ・ 圧力、ひずみ、摩耗検出のニーズと課題についての情報提供
- ・ メカノクロミック発光性薄膜の量産化と機械的刺激応答性の定量評価
- ・ メカノクロミック発光性薄膜を組み込んだ応力検知デバイスの作製
- ・ 固体表面をメカノクロミック発光性薄膜でコーティングする技術の確立
- ・ 偽造防止や暗号化に向けた特殊印刷

# 企業へ貢献、PRポイント

---

- ・ 本技術は、従来技術では難しかった圧力や摩擦の高感度・高分解能検知を実現する技術になることが期待される。
- ・ 共同研究による技術指導、サンプル提供や製造法の開示に対応可能。
- ・ 本技術に限らず、発光センサーの開発や各種発光測定・解析の共同研究や技術指導による連携が可能。

# 本技術に関する知的財産権

---

- 発明の名称 : 組成物、有機蛍光材料、組成物の製造方法及び薄膜の製造方法
- 出願番号 : 特願2023-092650
- 出願人 : 国立大学法人横浜国立大学
- 発明者 : 伊藤 傑、森山 裕歩

# 産学連携の経歴

---

## 従来技術に関する経歴 (2017～2020年)

- ・ 企業との共同研究 1社
- ・ 企業へのサンプル提供 6件

## 本技術に関する経歴 (2022～2023年)

NEDO 「官民による若手研究者発掘支援事業」  
(実用化に向けた目的志向型の創造的な基礎又は応用研究への支援)

# お問い合わせ先

---

横浜国立大学  
研究推進機構 産学官連携推進部門  
産学官連携支援室

TEL : 045-339-4450

FAX : 045-339-3057

e-mail : [sangaku-cd@ynu.ac.jp](mailto:sangaku-cd@ynu.ac.jp)