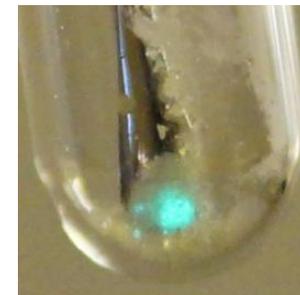
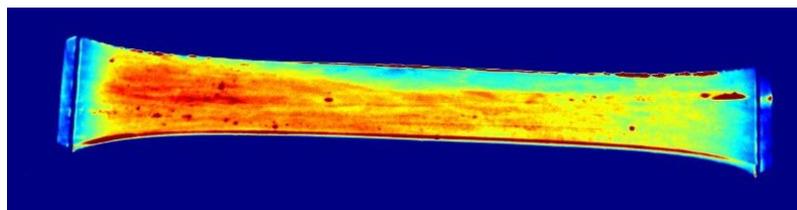


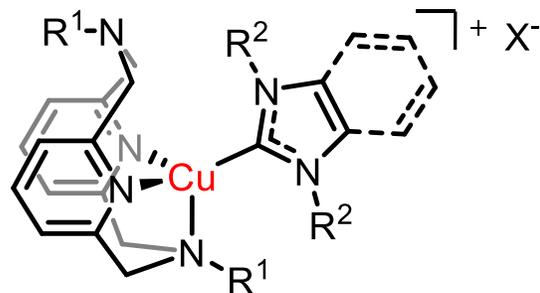
# 発光性銅錯体を用いた材料の応力可視化技術

沖縄科学技術大学院大学  
錯体化学・触媒ユニット

ポスドク研究員 狩俣 歩

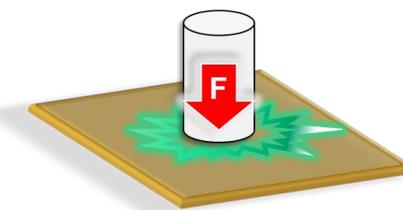
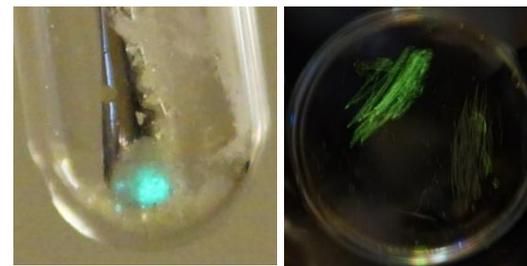
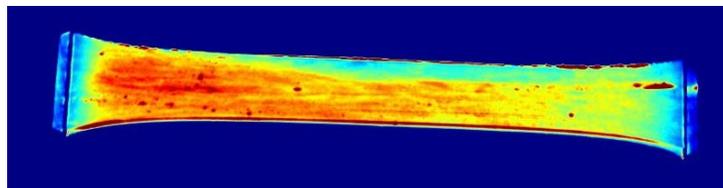


# ピリジノファン銅錯体の発光を用いた 応力可視化技術



技術1: 応力応答発光強度変化  
技術2: 摩擦発光

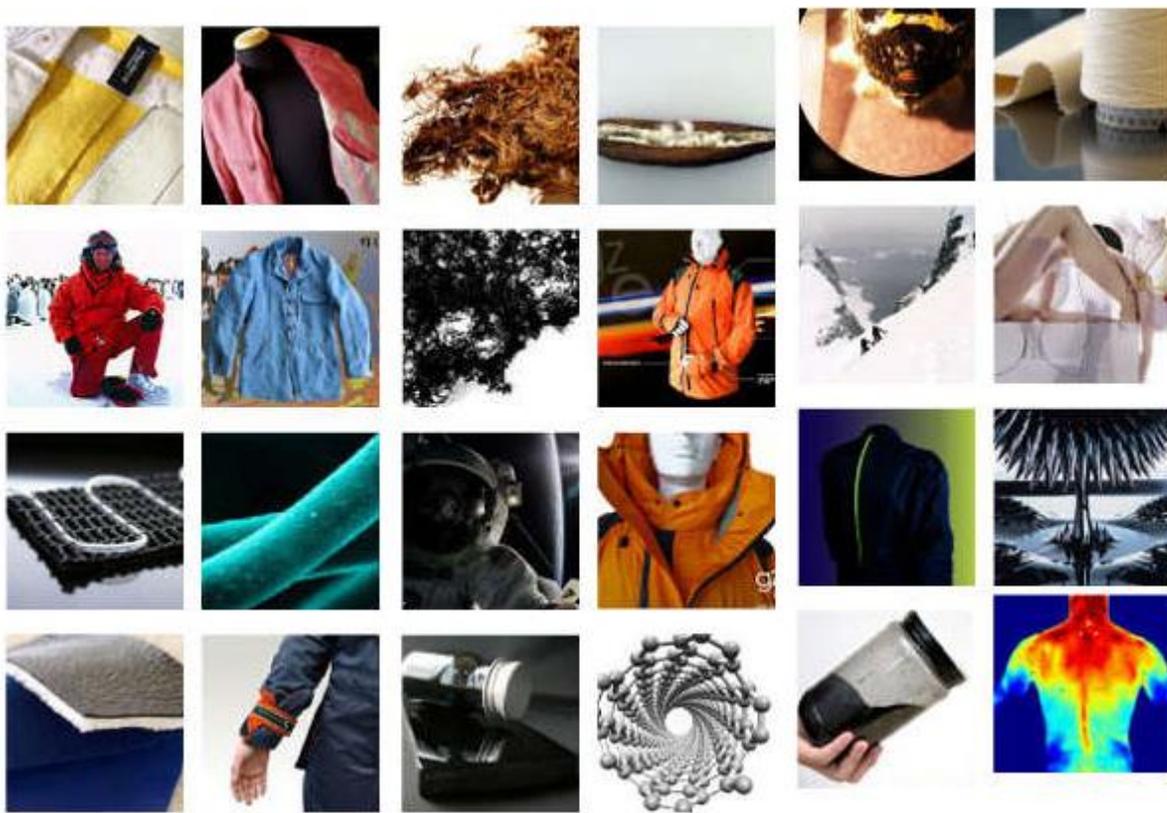
1. 応力に応答した発光強度変化と摩擦発光の2つの異なる発光を利用した応力可視化が可能。
2. 安価な銅を用いている。
3. 化学修飾により、安定性、ポリマーとの混和性の向上、および発光特性の制御が期待できる。



## スマート素材の国際市場は、2025年までに10兆円規模へ拡大すると予測されている

“The global smart material market size is anticipated to reach USD 98.2 billion by 2025, expanding at a CAGR of 13.5%. Extensive research & innovation activities have widened the industrial applications of smart material.”

*Grand View Research website – Smart Material Market*



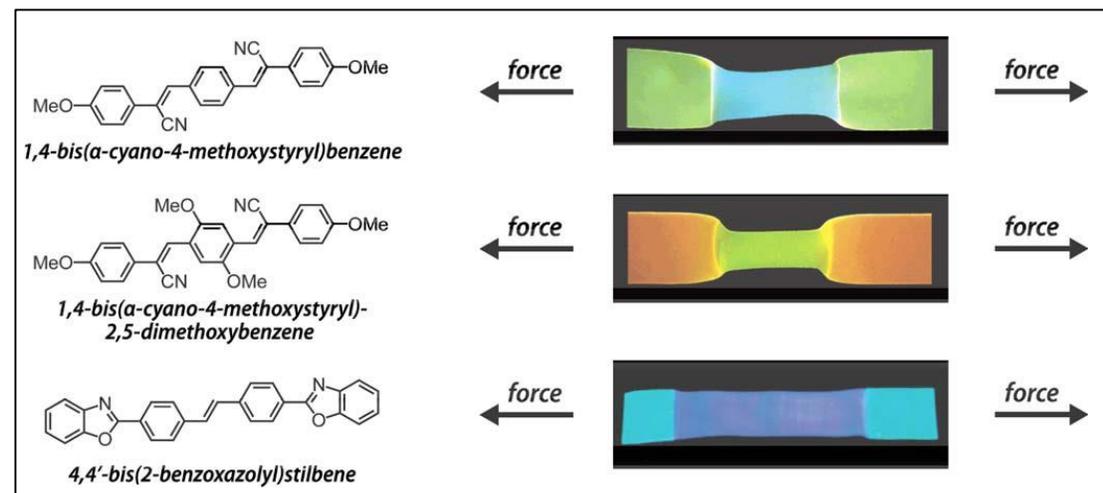
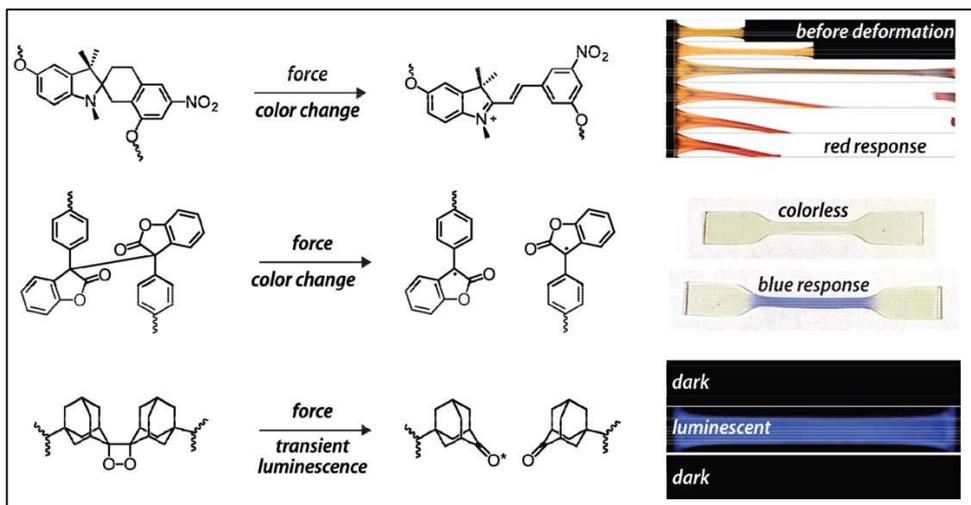
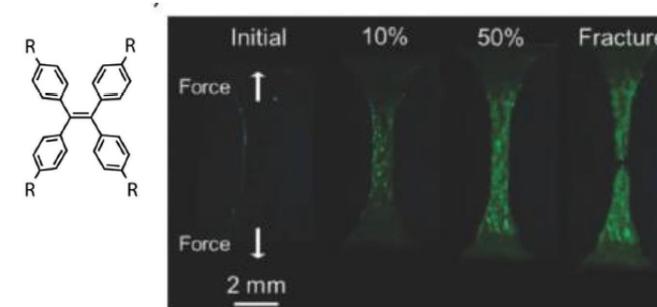
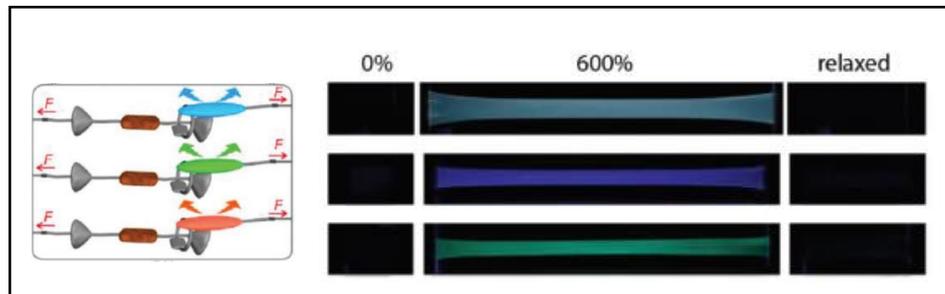
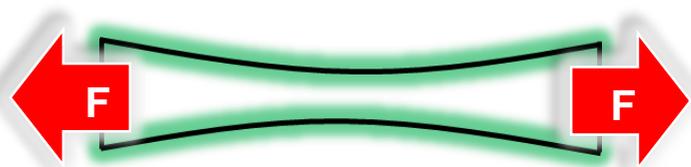
刺激を感知して性質を変えるユニークな材料の探索が行われている

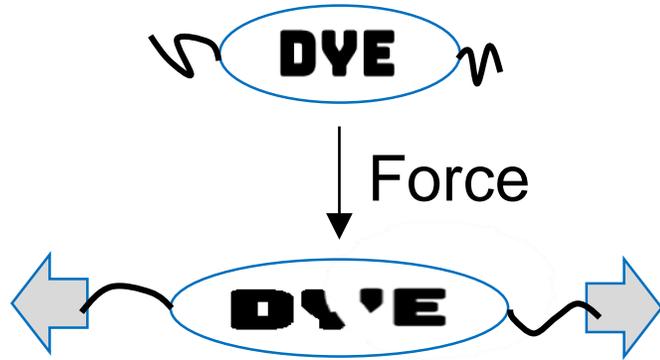
- 伝導性インク
- 温度に応じて色が変わる材料
- 紫外線照射により色や材質が変わる材料
- 形状記憶ポリマー
- 力を加えると光る材料

*Image Credit: Attendly.com – smart materials -, March 21, 2013*

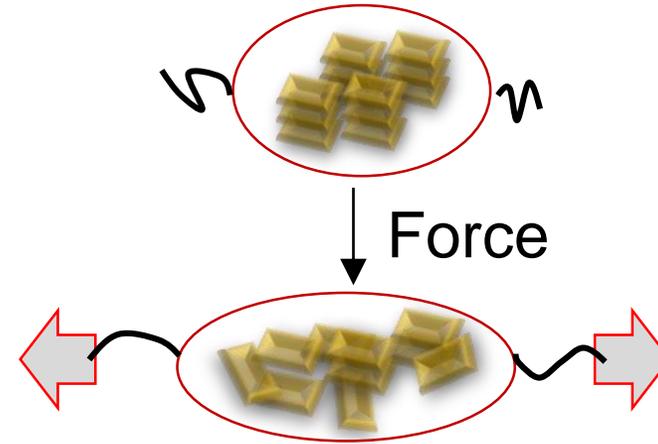
# 既存技術: メカノクロミックポリマー

- ✓ 力を加えると色あるいは発光強度が変化する。
- ✓ ポリマー材料中の応力を可視化して解析する新たな手法として期待されている。





色素の化学結合の破壊  
(分子構造の変化)

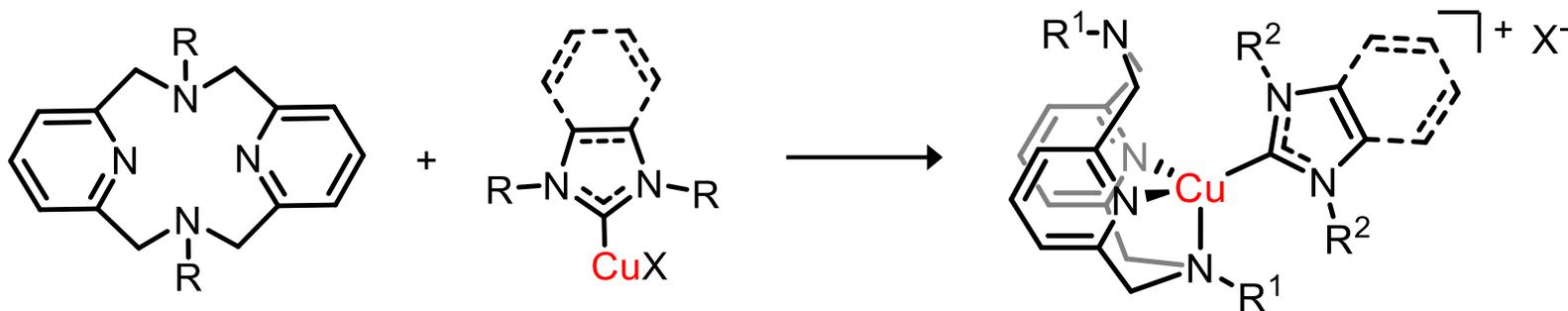


結晶あるいは集合体の破壊  
(分子間相互作用の変化)

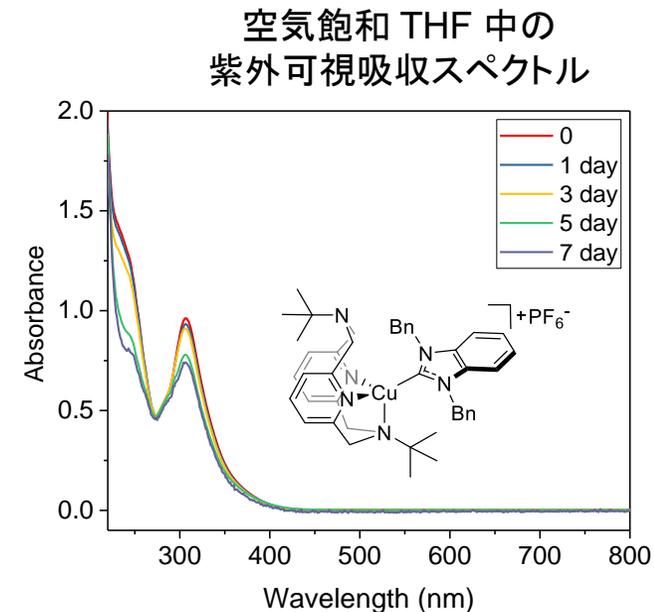
## 課題

1. 応答が不可逆。初期構造に戻すために、熱、光照射、あるいは溶解を要する。
2. 破壊に大きな応力を要する。

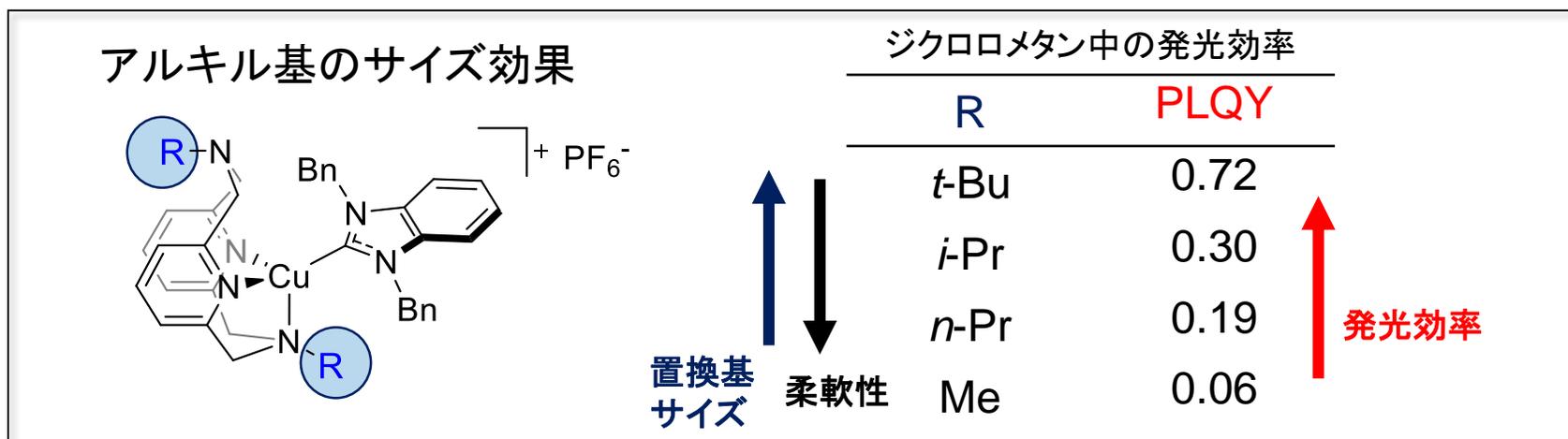
# 新技術: 分子の柔軟性に応じて発光効率が変わる発光性銅錯体



- 柔軟な環状四座配位子とカルベン配位子を用いることで、安定な Cu(I) 錯体を得られる。
- 分子の柔軟性が低下するに伴い、発光効率が上がる。

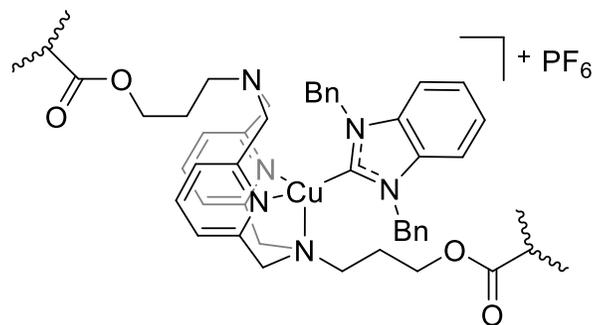
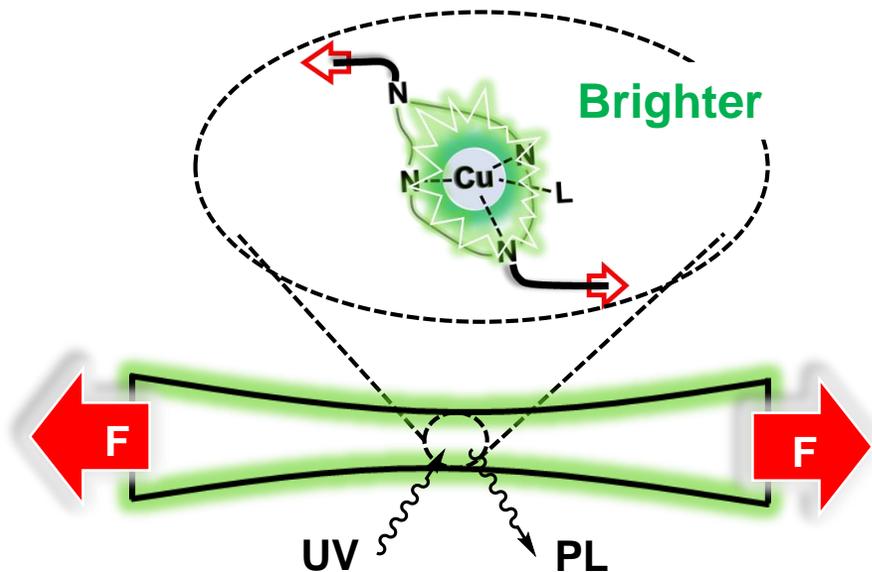


わずかに分解するが、報告されている発光性銅錯体の中では極めて安定



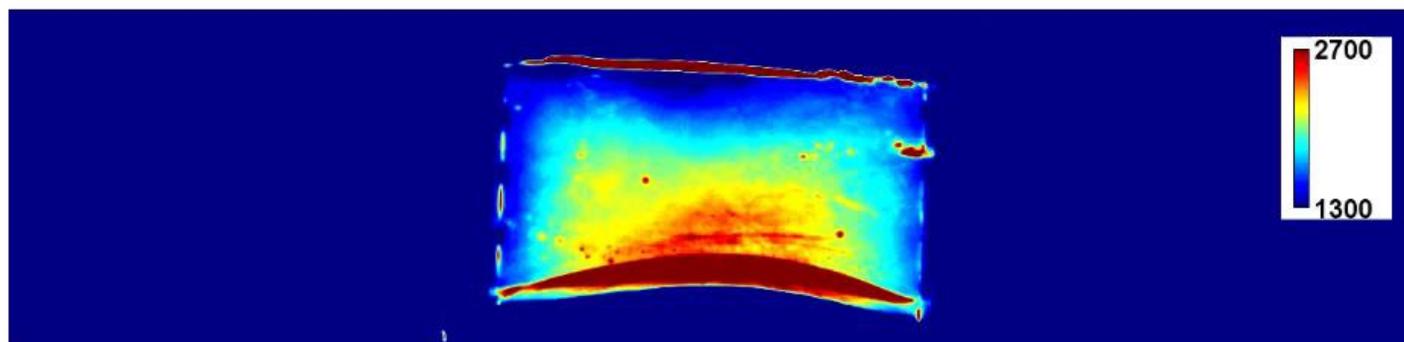
# 発光性銅錯体を用いた機械的刺激応答材料

ポリマーに組み込んで引っ張ることにより、分子の柔軟性が抑制されて発光強度が上がる



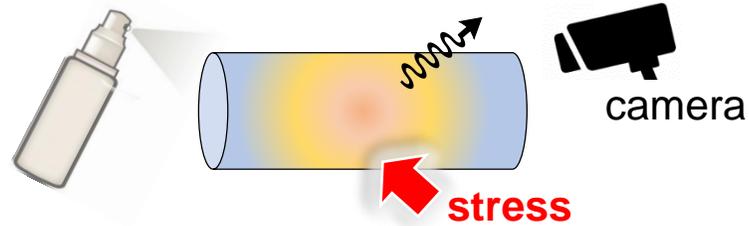
- 可逆的。
- 敏感。(< 0.1 MPa)
- 発光強度をモニターすることで、ストレス分布図が得られる。

架橋ポリアクリレートの発光イメージング



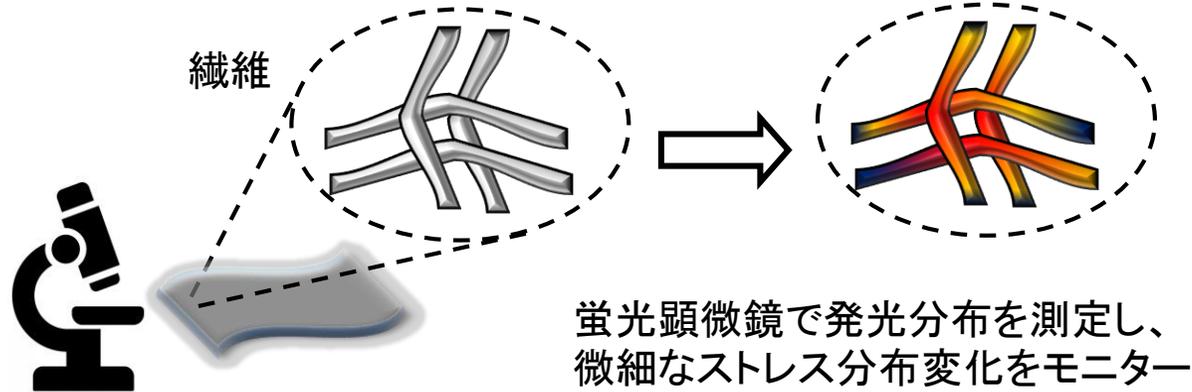
## 1. 応力可視化ペイント

製品の表面に塗布して機械的パフォーマンステストを行いながら、発光強度変化をモニターすることでストレス分布図を得る。



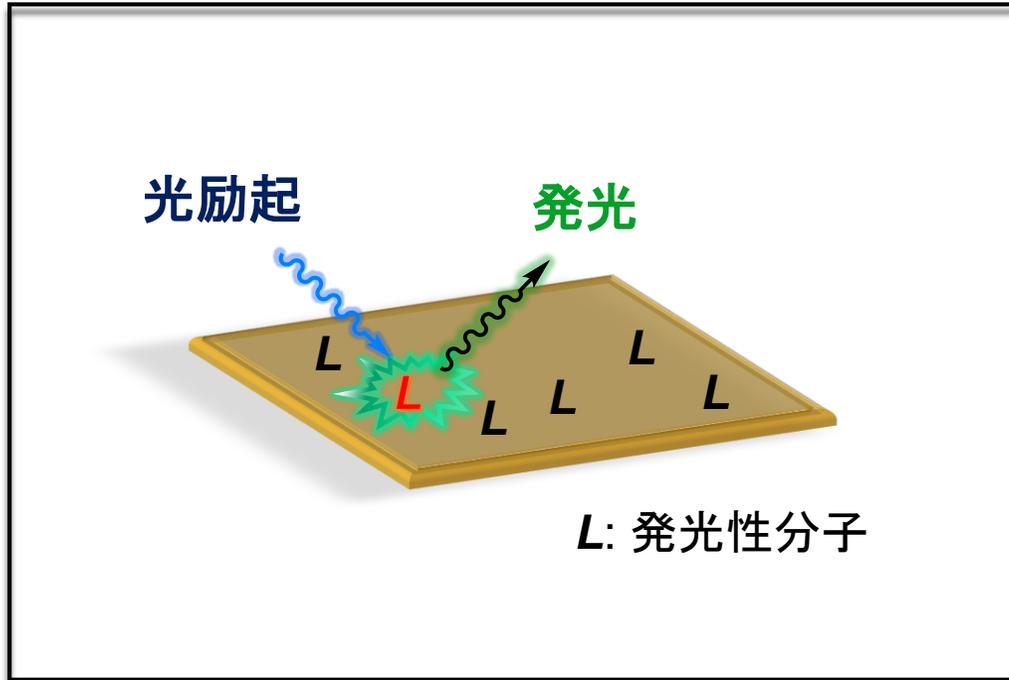
スポーツ用品、乗り物の部品、建築材料など

## 2. マイクロスケールの応力変化を解析するプローブ

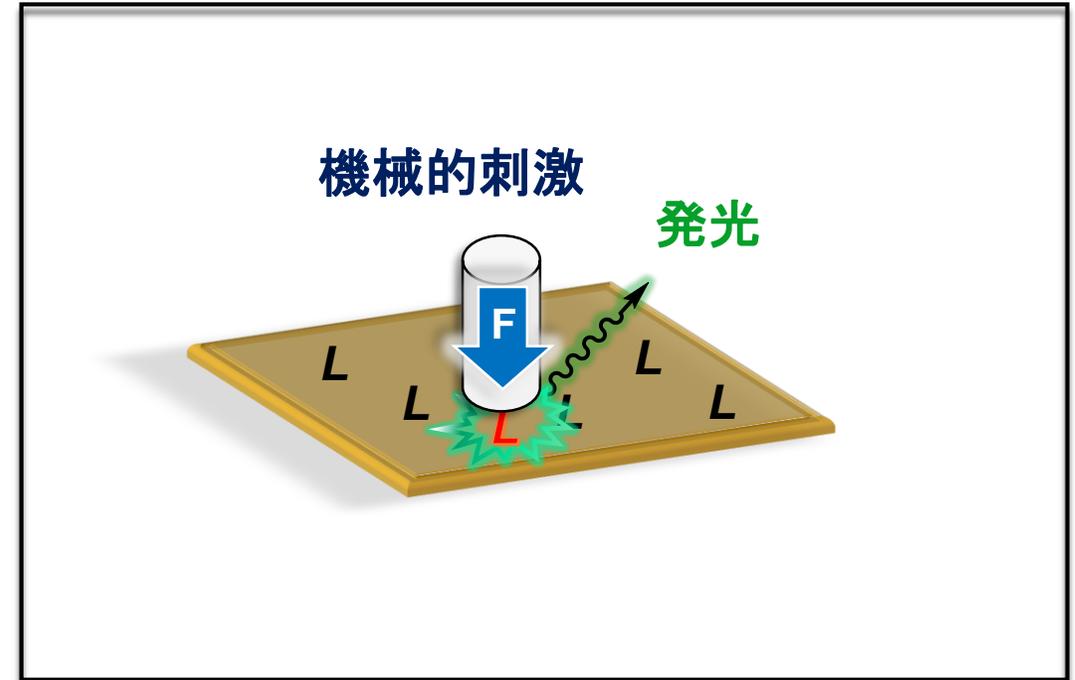


衣類、生体材料、医療器具など

## フォトルミネセンス (PL)



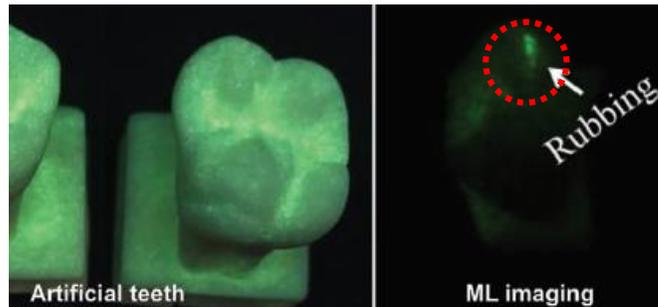
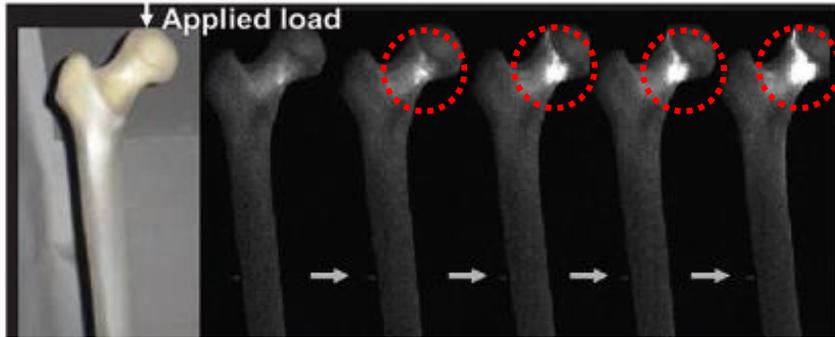
## 摩擦発光 (トリボルミネセンス、TL)



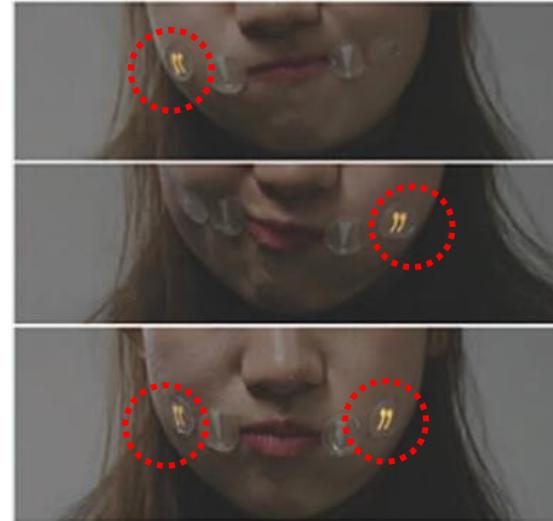
## 摩擦発光の特徴

- 光照射を要しない。
- 擦る、砕くなどの力学的刺激により、光エネルギーが放出される。

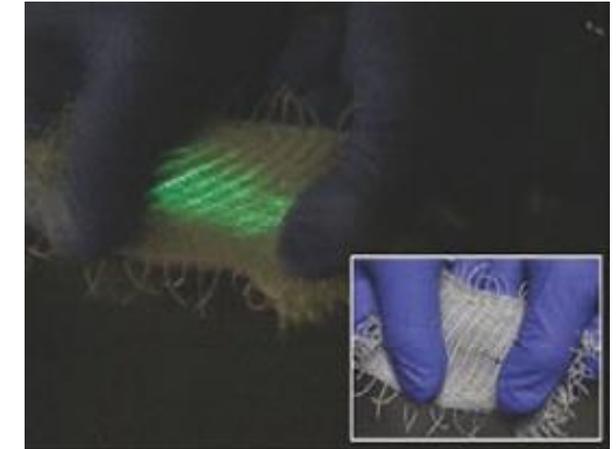
# 既存材料による実証試験の例



摩擦発光材料を組み込んだ人口の骨と歯



僅かな動きに反応して光るシール



光る繊維

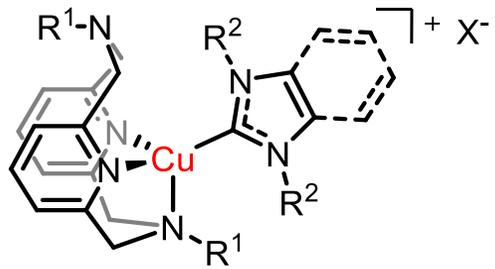
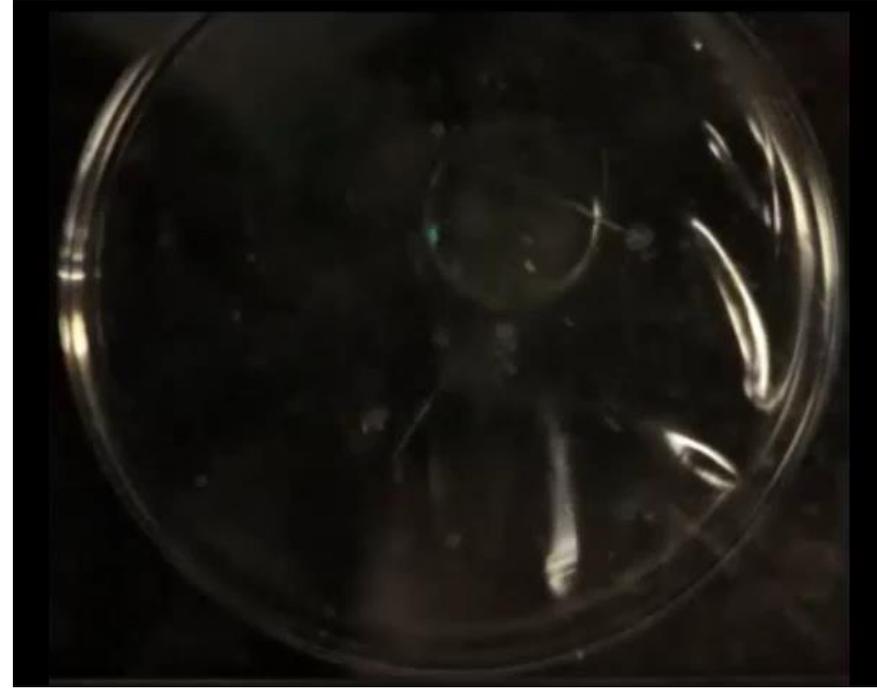
これまでの実証試験では、**レアアース金属含有セラミックス**、あるいは**金属ドーパ半導体ナノ粒子**を用いた材料が使用されてきた。

- 課題:
- 高価なレアアースを用いている。
  - 化学修飾による混和性向上および発光特性制御が難しい。

## Reviews and books:

(1) *J. Mater. Chem.* **2001**, 11, 231, (2) *Chem* **2018**, 4, 943, (3) *Angew. Chem. Int. Ed.* **2019**, 58, 7922 (4) *Triboluminescence: Theory, Synthesis, and Application*, Springer International Publishing, **2016**. (5) *Adv. Mater.* **2021**, 2005925

# 発光性ピリジノファン銅錯体の摩擦発光



- 結晶性粉末を粉碎すると発光する。
- ポリマーに混合して表面を擦った場合にも、摩擦発光が観測される。

# 実用化に向けた課題

- 安価な前駆体を用いた簡易合成法の確立。
- 既存ポリマー製品との融合に向けた分子修飾。
- 空気安定性および熱的安定性の評価と、化学修飾による改善。
- 既存製品を用いた実証実験。

## 企業への期待

- 材料の合成プロセスの改良と製造。
- 既存ポリマー製品への添加と応力応答に関する試験。
- 既存製品を用いた実証試験。

# 特許出願

- 発明の名称: (1) ダイナミックCu<sup>I</sup>ベースのクロスリンカーによって修飾されたポリマーフィルム  
における高感度な機械的制御  
原題「Highly sensitive mechano-controlled luminescence in polymer films modified by dynamic Cu<sup>I</sup>-based cross-linkers」
- (2) 結晶状態およびポリマーフィルムにおけるCu-NHC錯体の摩擦発光  
原題「Triboluminescence of Cu-NHC complexes in crystal state and polymer films」
- 出願番号: (1) 日本 仮出願 2020-103434  
(2) 日本 仮出願 2020-120094
- 出願人: 沖縄科学技術大学院大学(単独)
- 発明者: 狩俣歩 (ポスドク研究員) (1)~(2)  
ジュリア・クスヌディノワ Julia Khusnutdinova (准教授) (1)~(2)  
パラドニヤ・パティル Pradnya Patil (ポスドク研究員) (2)

# お問い合わせ先

沖縄科学技術大学院大学(OIST)

技術移転セクション

TEL : 098-966-8937

FAX : 098-982-3424

E-mail : [tls@oist.jp](mailto:tls@oist.jp)



OIST

OKINAWA INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY GRADUATE UNIVERSITY  
沖縄科学技術大学院大学