

# 太陽光程度の弱い光で可視光を 紫外光に変換する固体材料を開発

九州大学 工学研究院応用化学部門  
准教授 佐々木 陽一

2026年7月28日

## 本技術の概要

### 高効率なフォトン・アップコンバージョン (UC) を実現する分子の開発

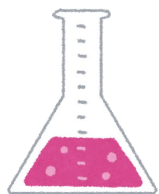
- ・ 太陽光レベルの超低強度な可視光を紫外光に変換する分子性固体材料の開発に成功。
- ・ ドロップキャストやスピンコート法のような簡便な方法で作製可能。
- ・ 適切な母骨格の使用により固体結晶中での分子間相互作用の系統的な制御を実現。

## フォトン・アップコンバージョン (UC)

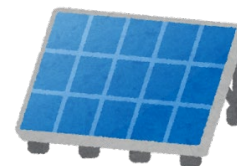
低エネルギーの光 をより 高エネルギーの光へ変換



光触媒・光反応



3D  
プリンティング



光発電

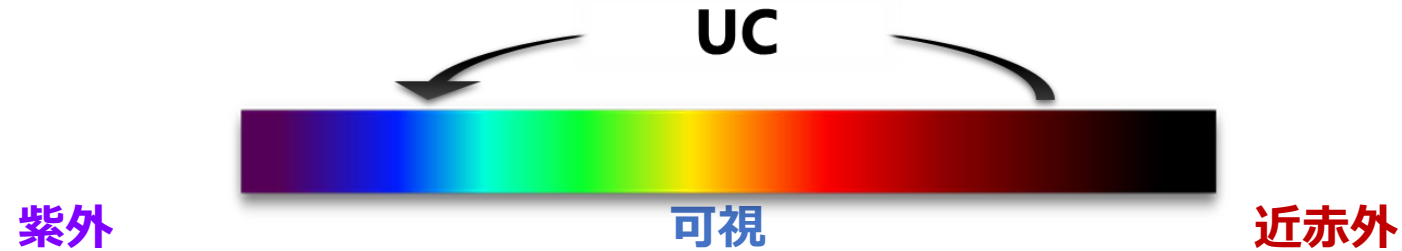


バイオイメーシング  
光遺伝学

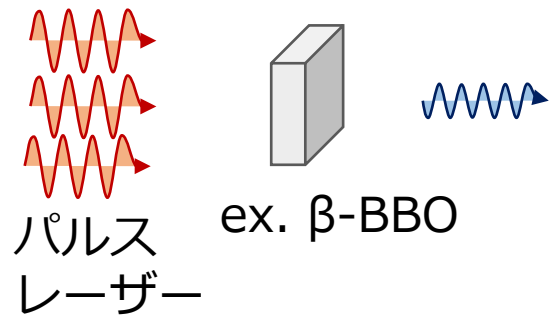
など

# フoton・アップコンバージョン (UC)

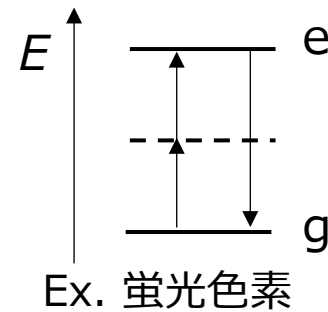
低エネルギーの光 をより 高エネルギー の光へ変換



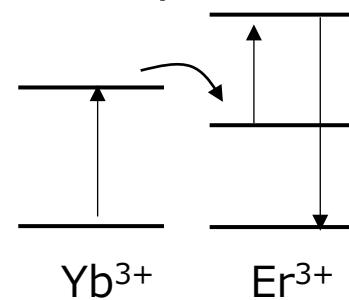
高調波発生  
(主に無機結晶)



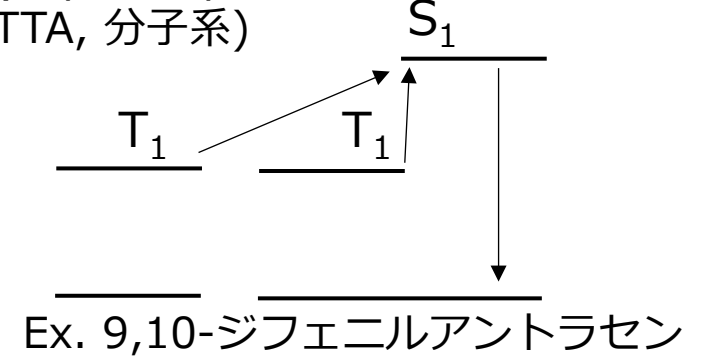
二光子吸収  
(分子系)



多段階励起  
(ランタノイドドープ  
ナノ結晶)



三重項—三重項消滅  
(Triplet-triplet annihilation,  
TTA, 分子系)



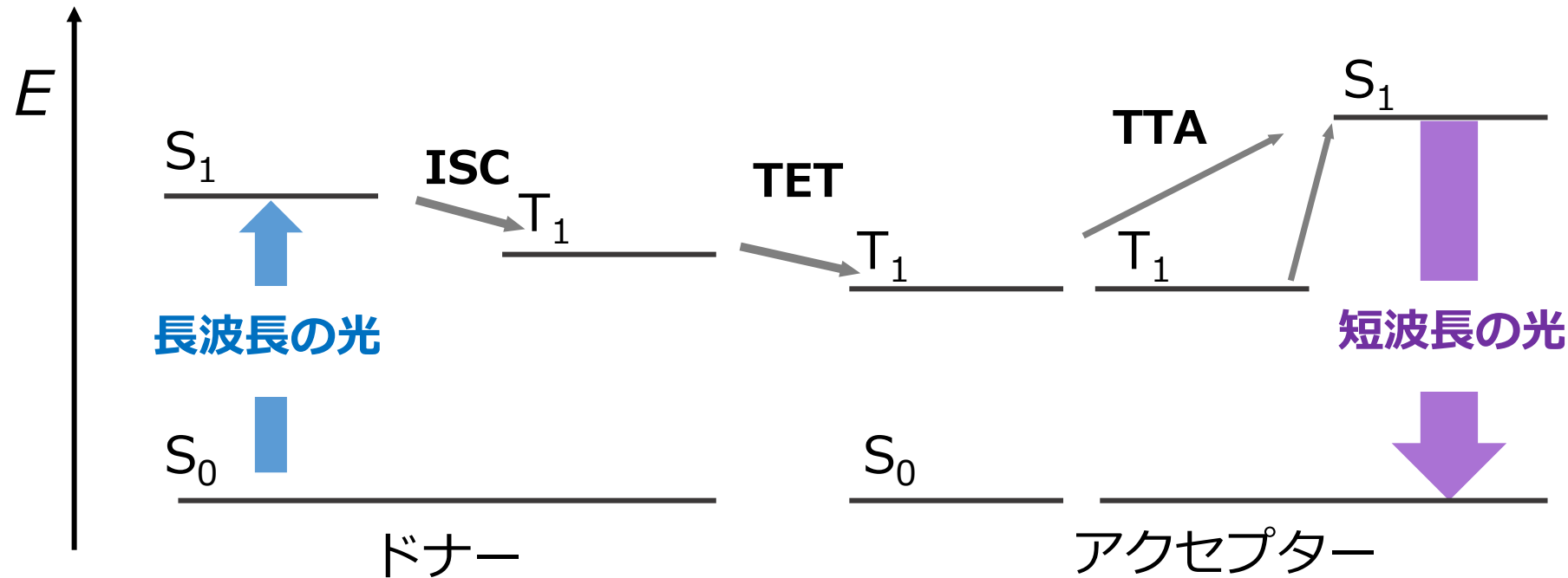
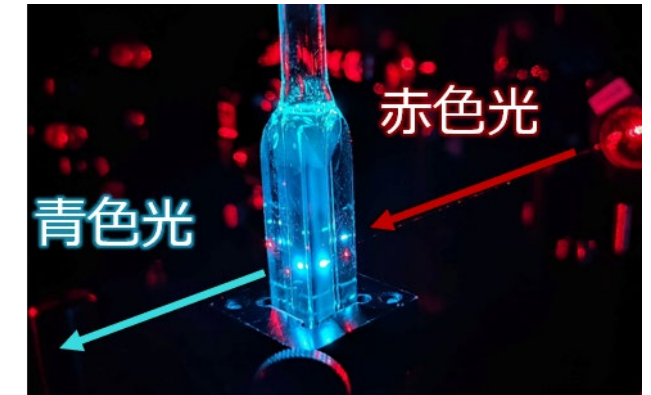
× 位相の揃った励起光  
(ex. レーザー光) が必要

○ 位相の揃っていない光でも駆動

× 高強度光が必要

○ 低強度の光で駆動 ( $\sim \text{mW cm}^{-2}$ )

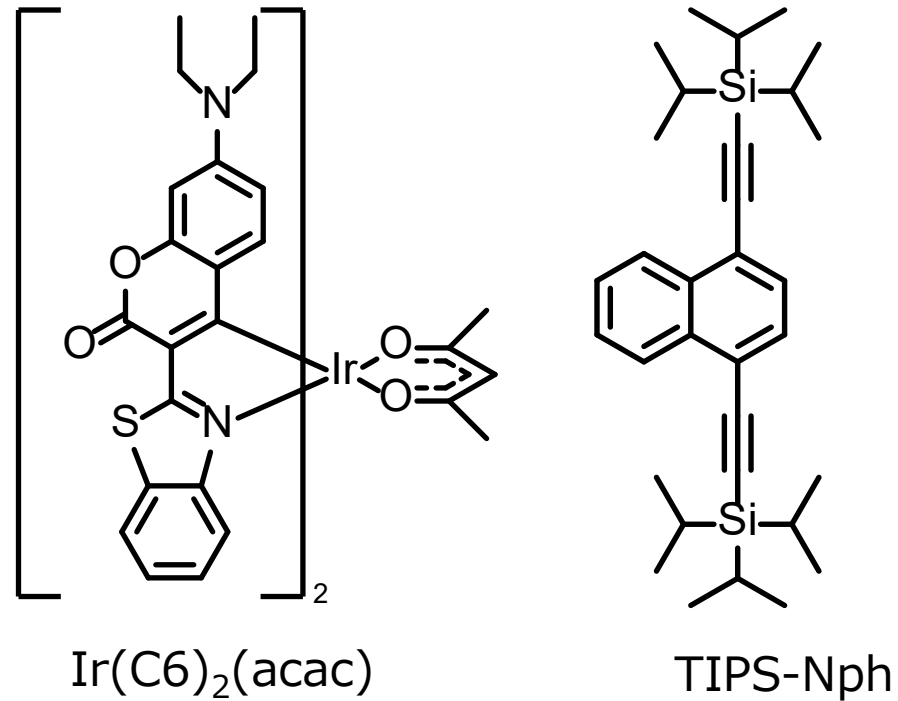
## 三重項－三重項消滅に基づく UC (TTA-UC) のメカニズム



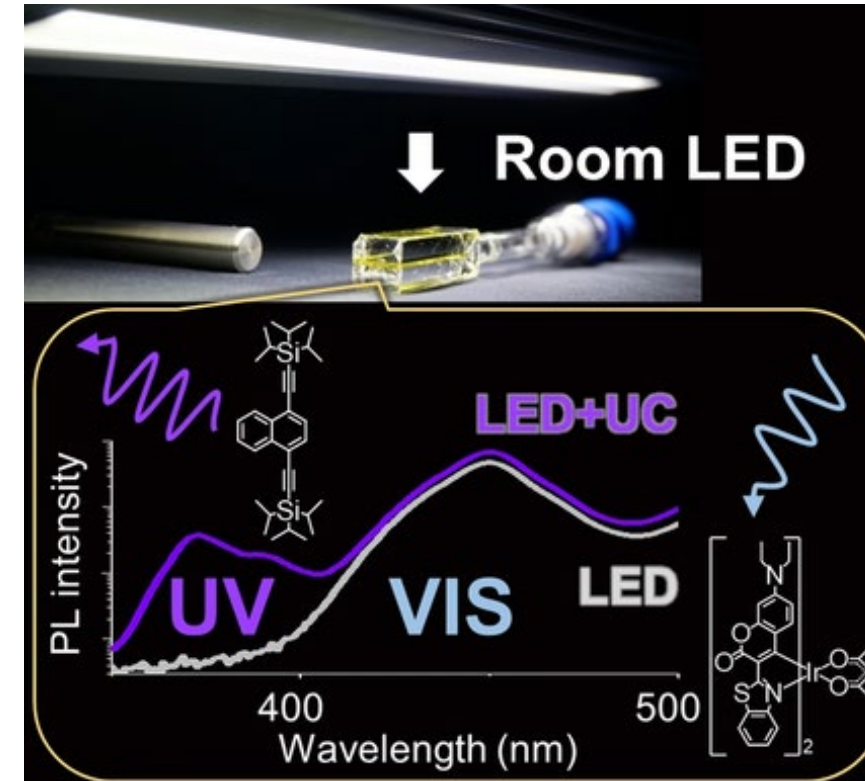
長寿命な励起三重項状態での分子のエネルギーのリレーを活用して  
低いエネルギーの光子を高いエネルギーの光子に変換

# 溶液系可視－紫外 TTA-UC

2020年



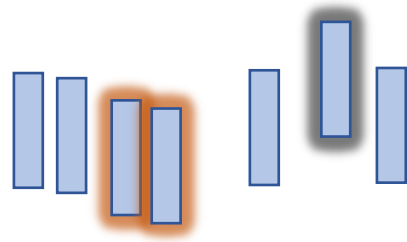
N. Harada *et al.*, *Angew. Chem. Int. Ed.*, **2021**, 60, 144–149.



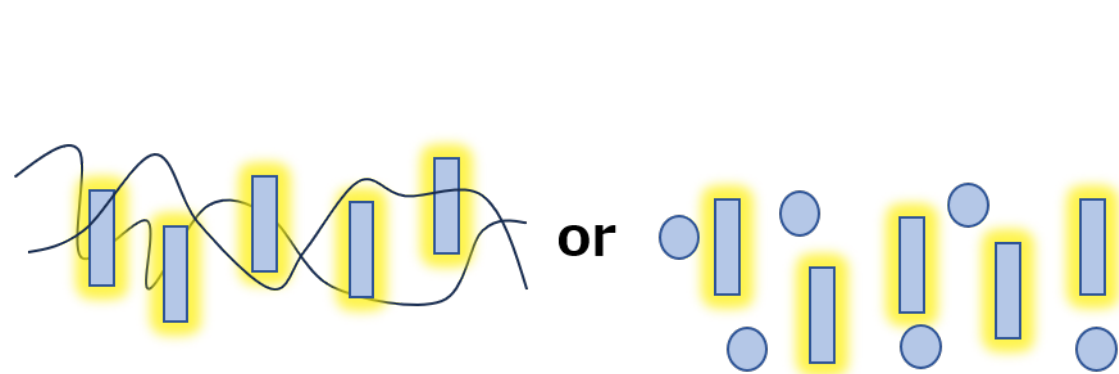
九州大学プレスリリースより抜粋

**溶液系で高い UC 効率** ( $\Phi_{UC} \sim 11\%$ ) を示し、  
**弱い光照射下** で駆動する可視－紫外TTA-UCが実現され一気に注目

## 固体系 TTA-UCの課題：(分子間の相互作用による) 励起子の失活



励起子が失活しやすい (トラップ形成)  
⇒ **低いUC効率**を示し**強い光強度**が必要となる

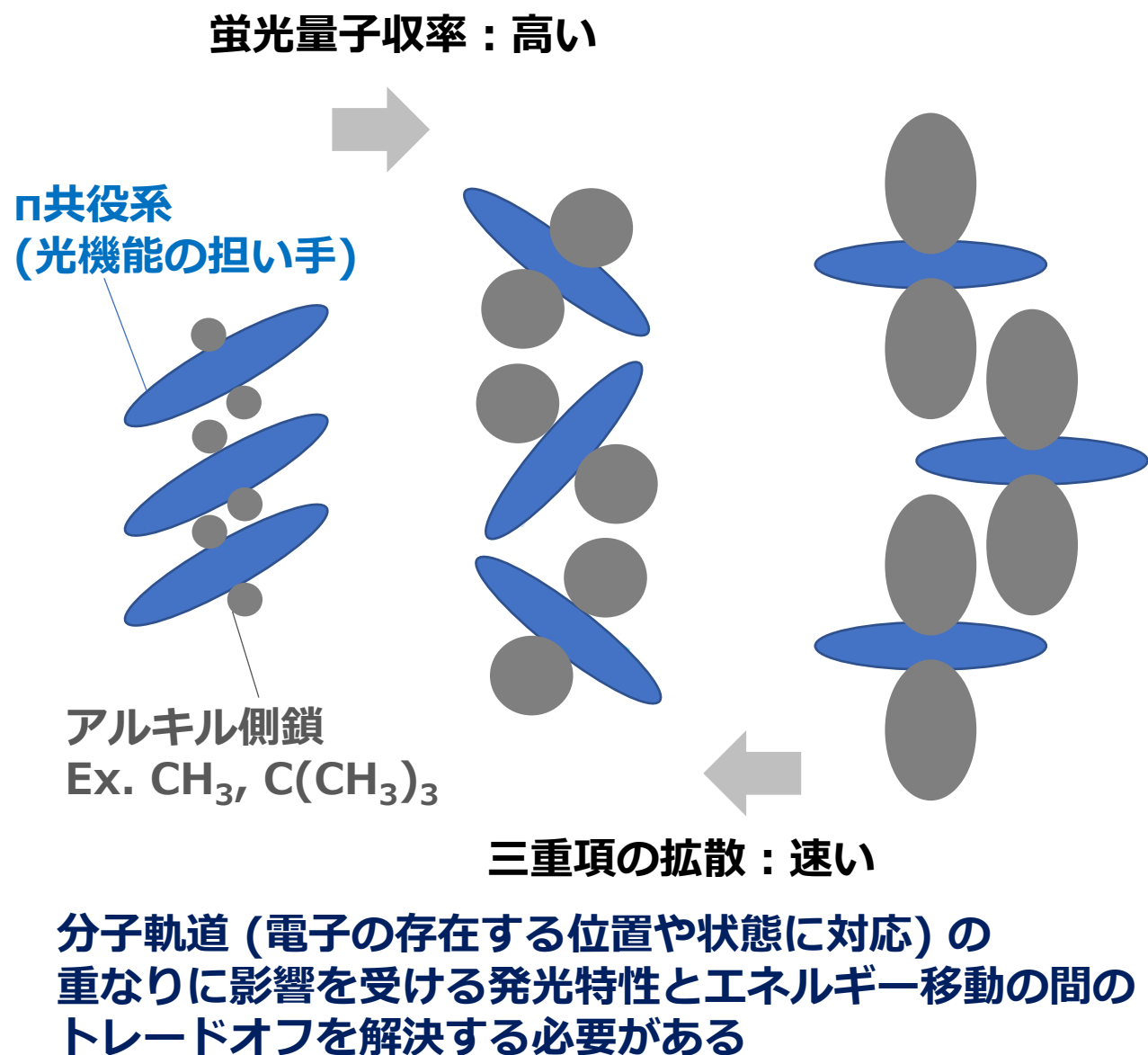


不揮発性媒体に分散 (希釈)

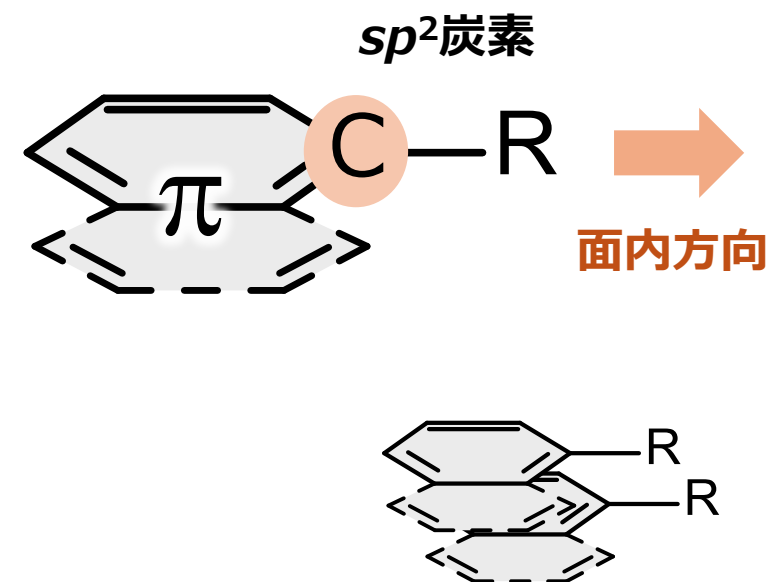
### 分子分散系の問題点

- ・ 分子の拡散係数に依存したエネルギー移動  
→ 粘性媒体の使用、脱酸素雰囲気下での作製が必須
- ・ 長期安定性に優れない  
(温度に依存してUC効率が変わる)

# 分子間相互作用の精密設計戦略



これまでの戦略  
 $sp^2$ 炭素への修飾

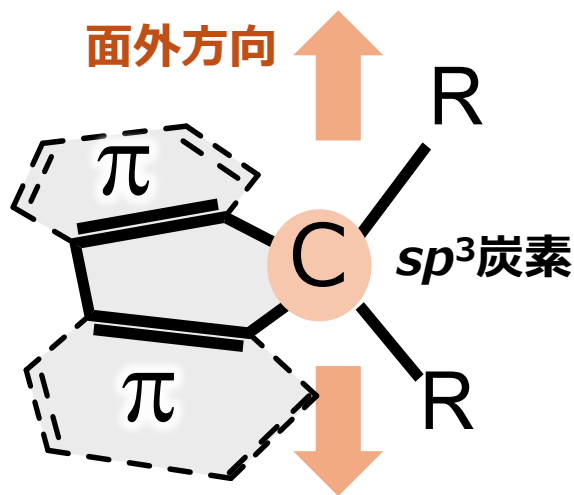
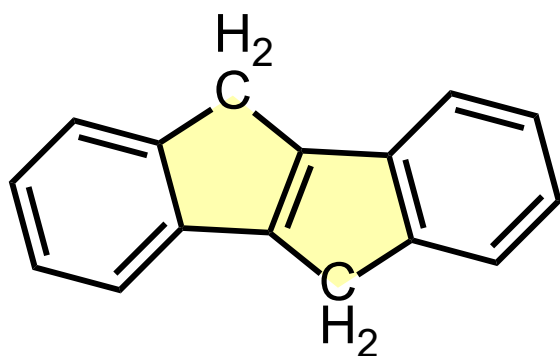


九州大学プレスリリースより抜粋

従来の側鎖設計では、  
 $\pi$ 平面間の距離の設計に不向き

## 本研究の戦略

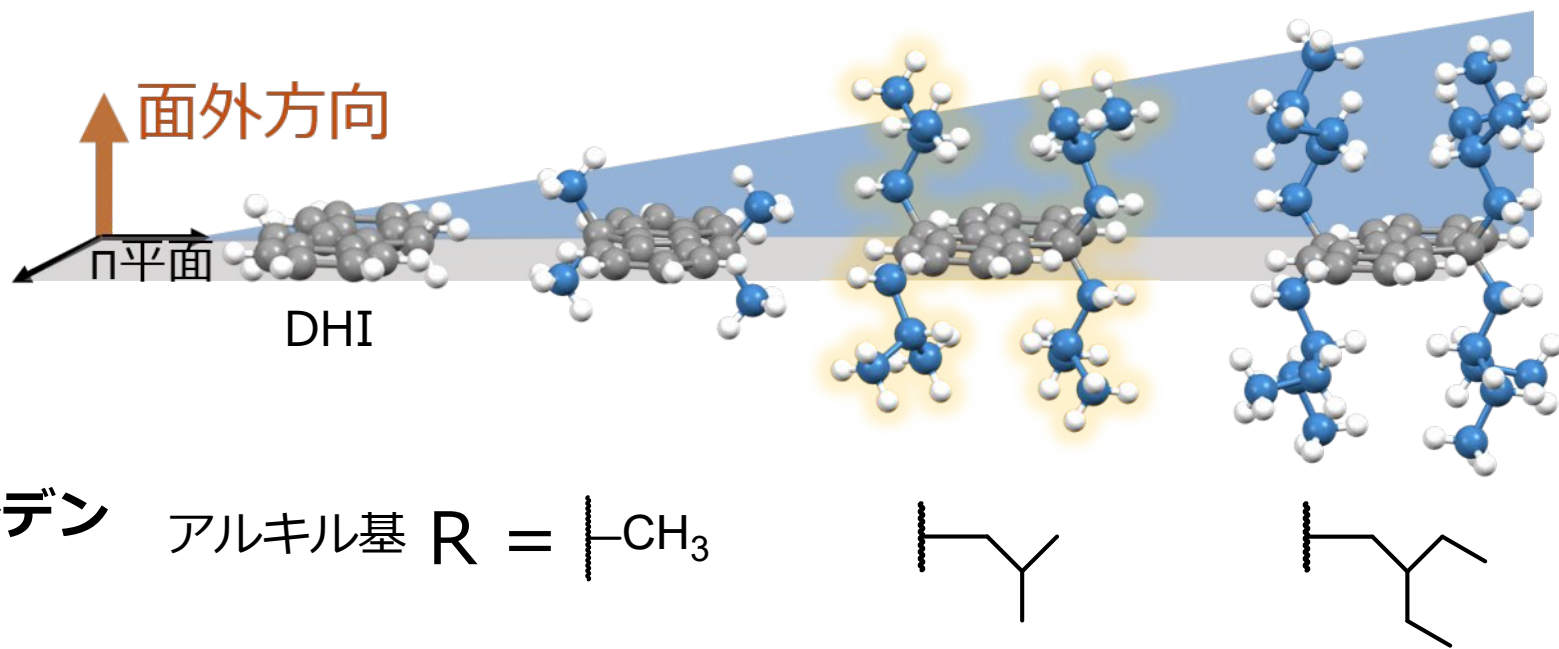
## $sp^3$ 炭素を起点にしたアルキル伸長



5,10-ジヒドロインデノ[2, 1-a]インデン

蛍光量子収率が高い (>80%)

n軌道に垂直な方向への立体障害の導入  
⇒分子軌道の重なりすぎによる失活の抑制

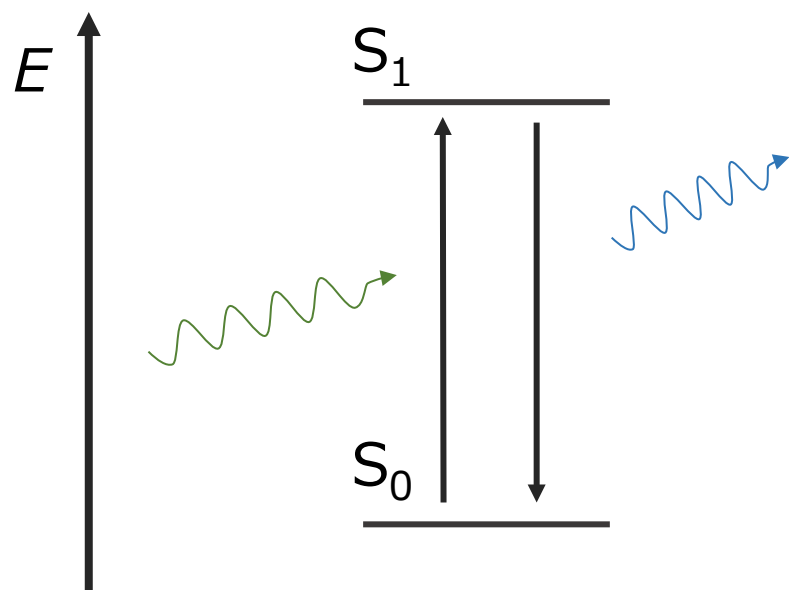
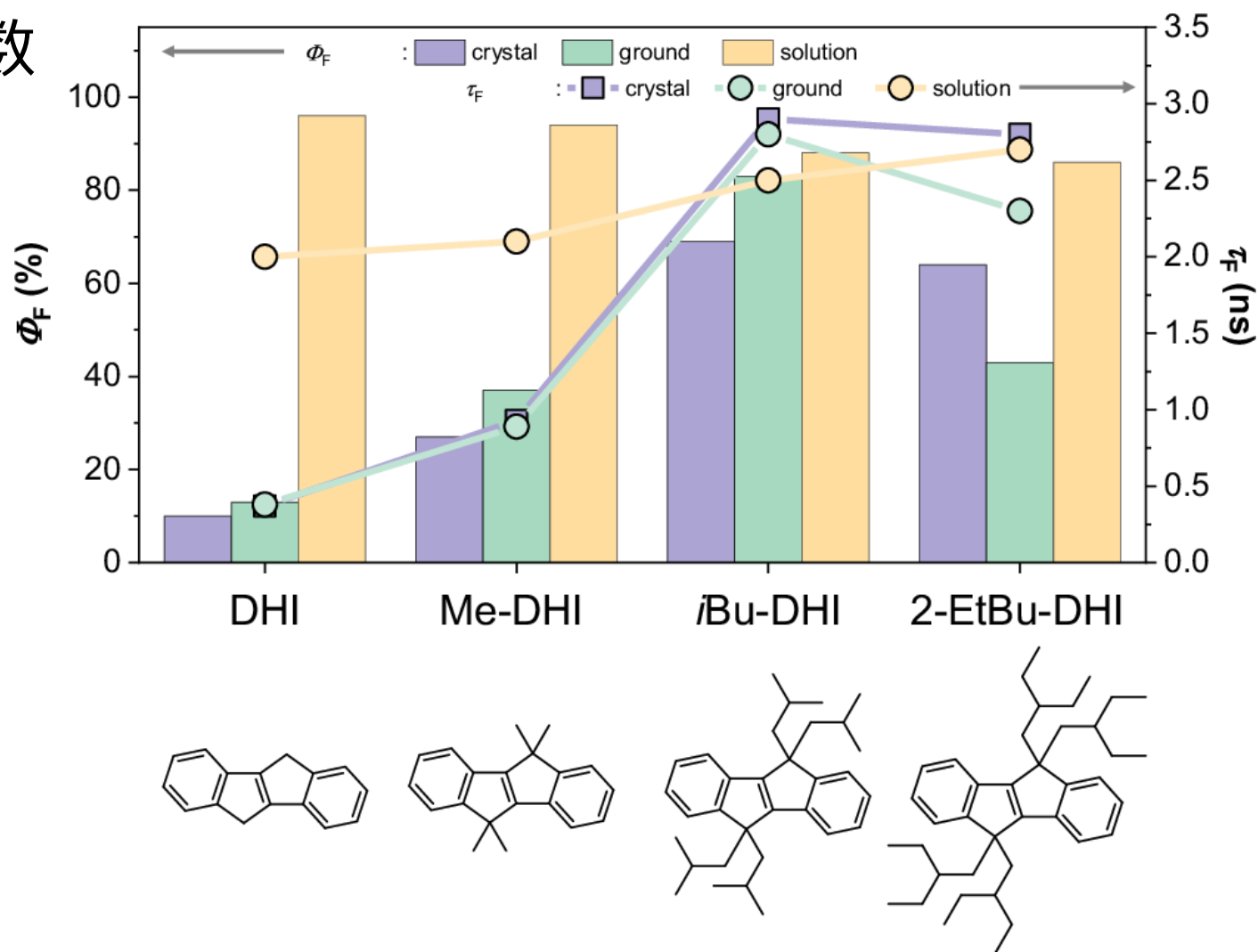


アルキル基  $R = \text{---CH}_3$

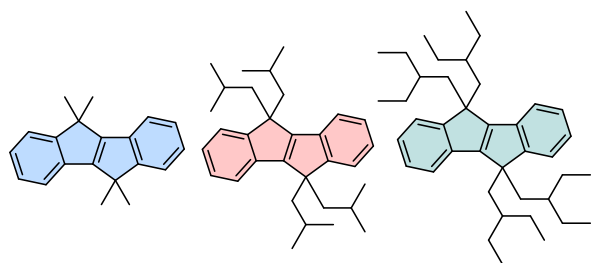
九州大学プレスリリースより抜粋

N. Harada, H. Shoyama, N. Boonmong *et al.*, *Nat. Commun.*, **2026**, 17, 5134.

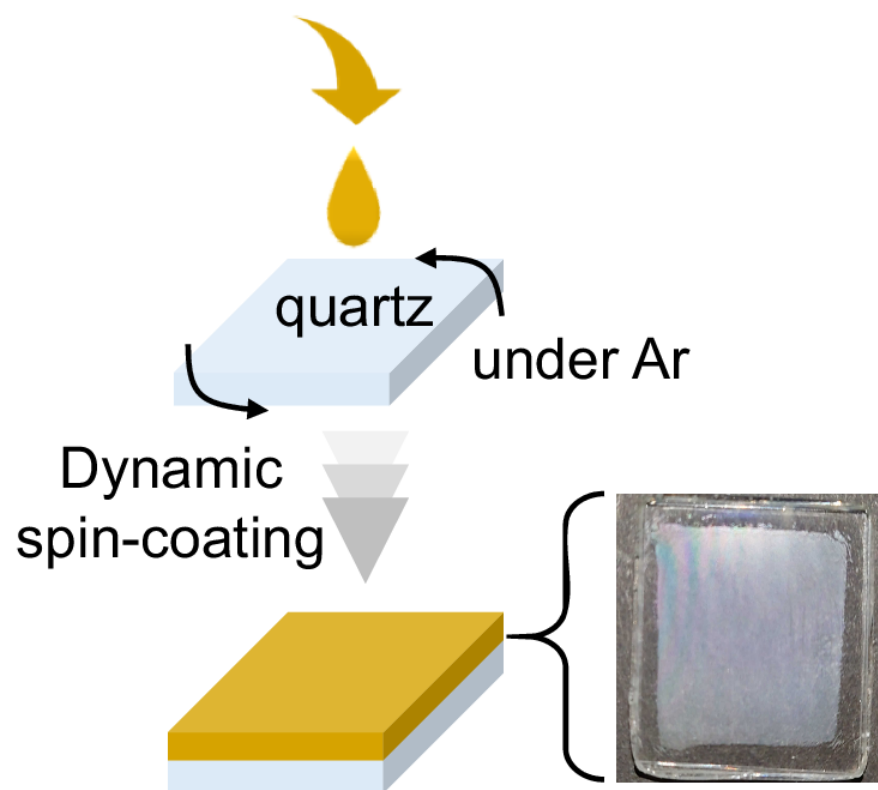
蛍光量子収率 ( $\Phi_F$ ) :  
蛍光の光子数/吸収した光子数



iBu-DHIは発光効率が高い

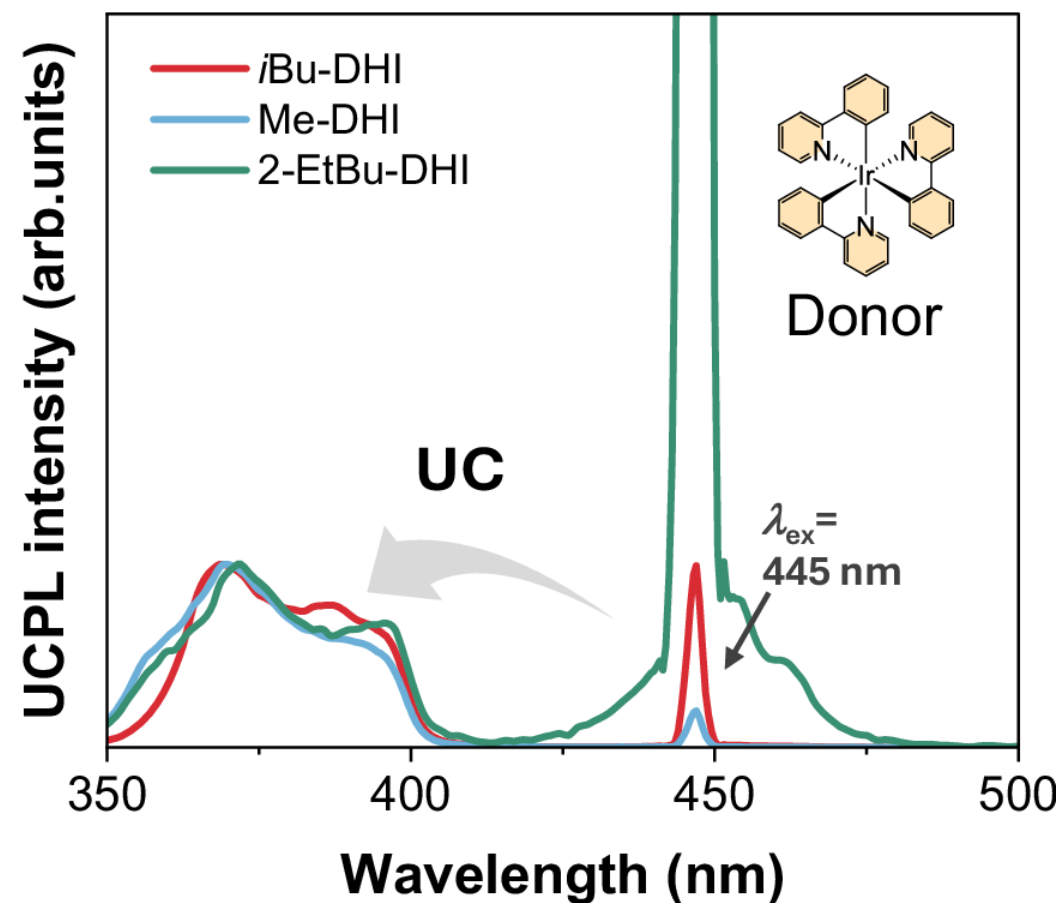


Acceptor : Donor  
= 100 mM : 1 mM in THF



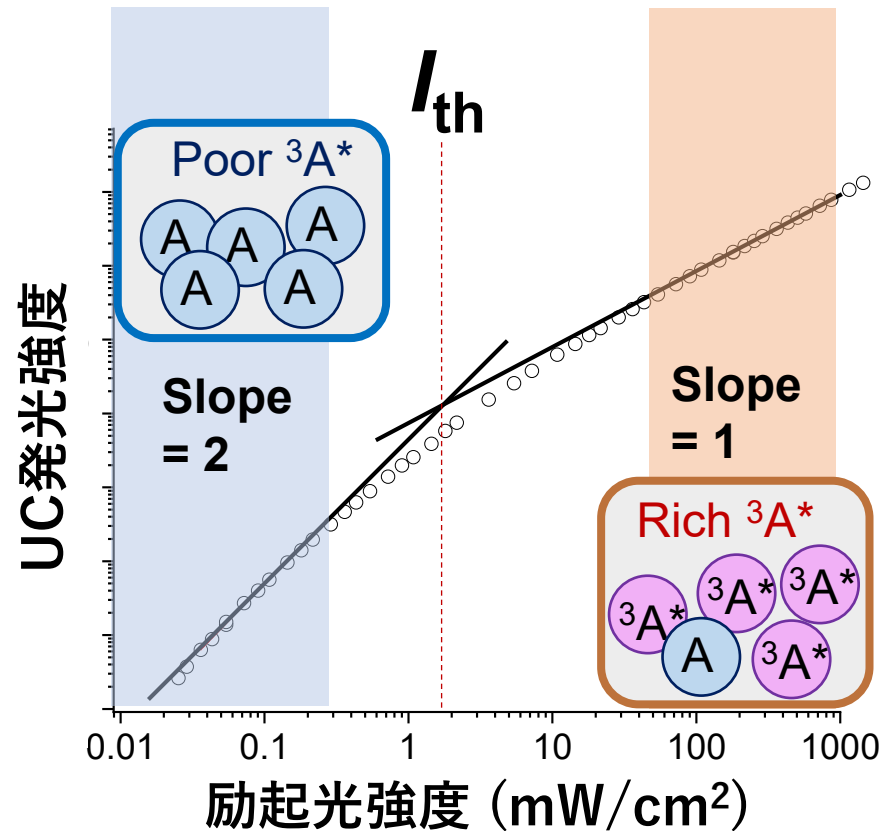
## UC 発光スペクトル

( $\lambda_{\text{ex}} = 445 \text{ nm}$ )

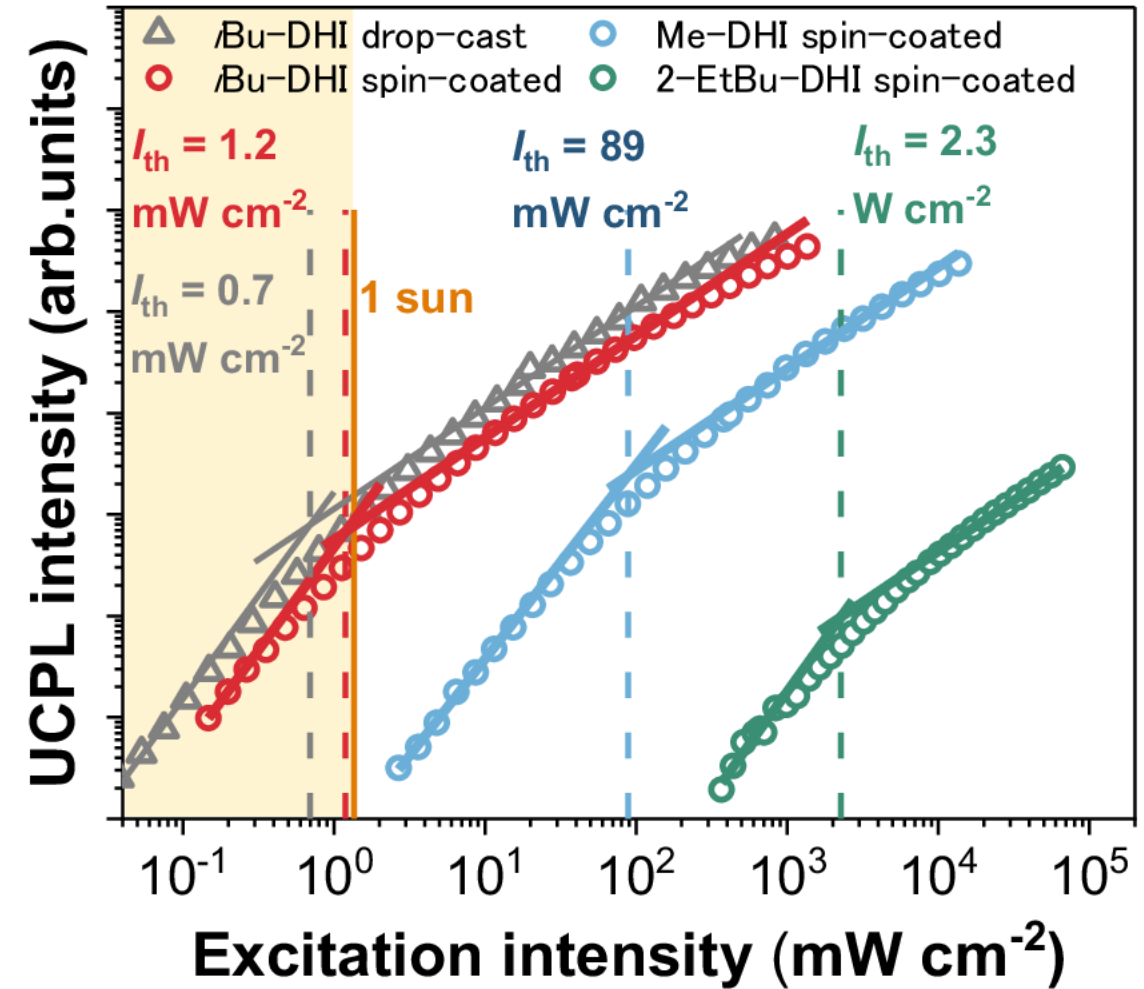


Ar 雰囲気下で可視光を紫外光に変換

しきい励起光強度 ( $I_{th}$ ):  
どのくらい弱い光で駆動するかの指標

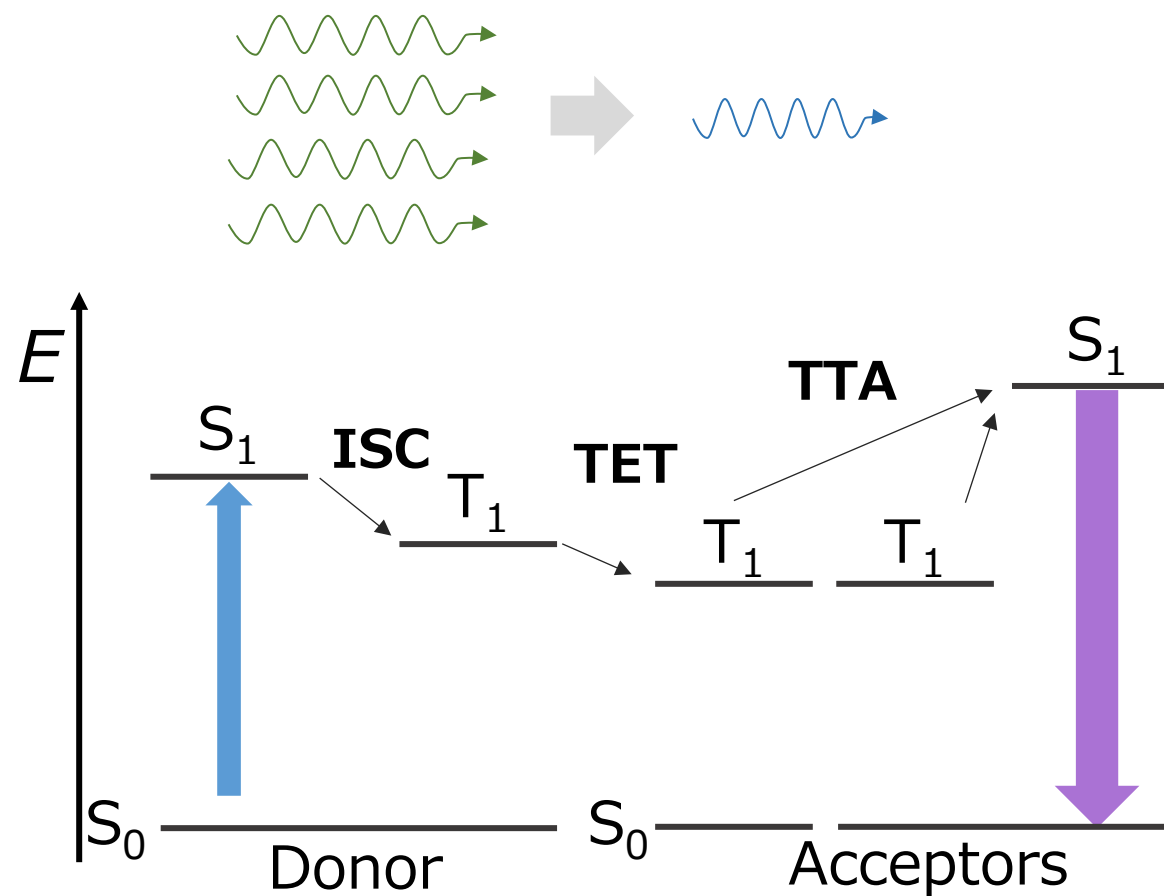


UC 発光強度の励起光強度依存性  
( $\lambda_{ex} = 445 \text{ nm}$ )



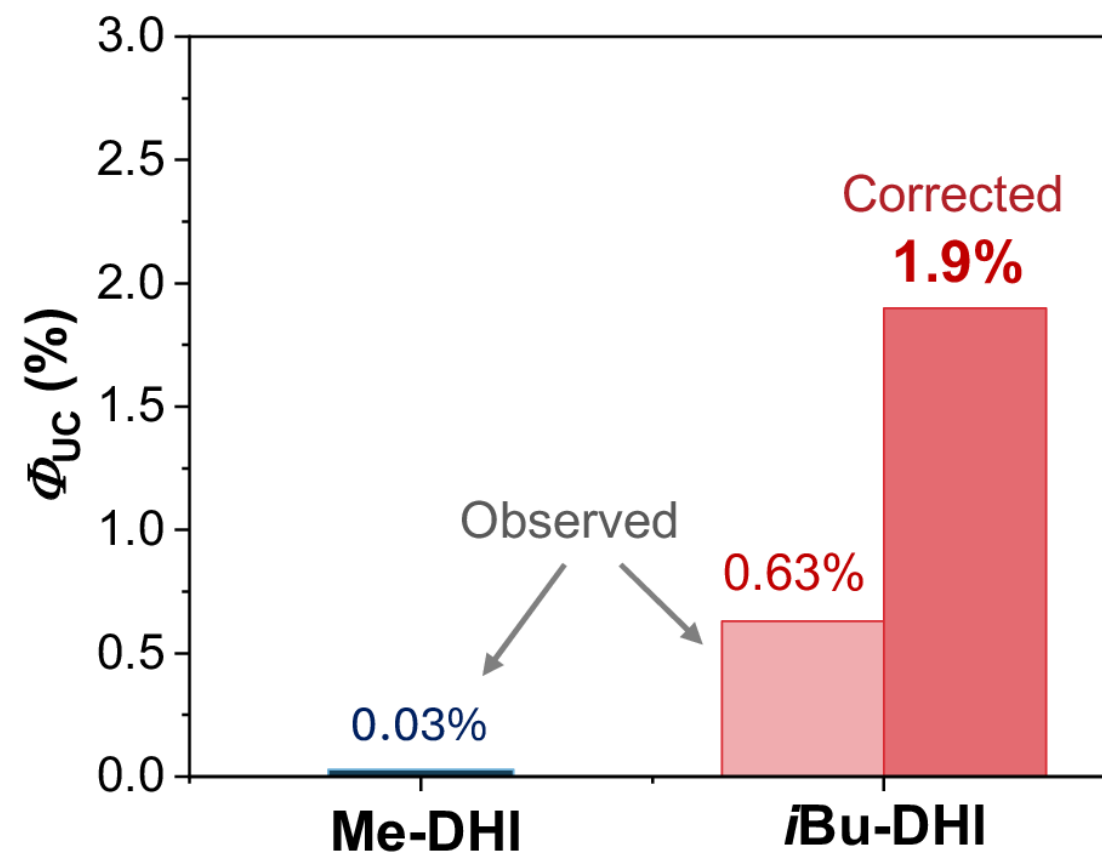
$\text{Ir(ppy)}_3/i\text{Bu-DHI}$  は、太陽光程度で駆動

UC量子収率 ( $\Phi_{UC}$ ):  
UC光の光子数/吸収した光子数

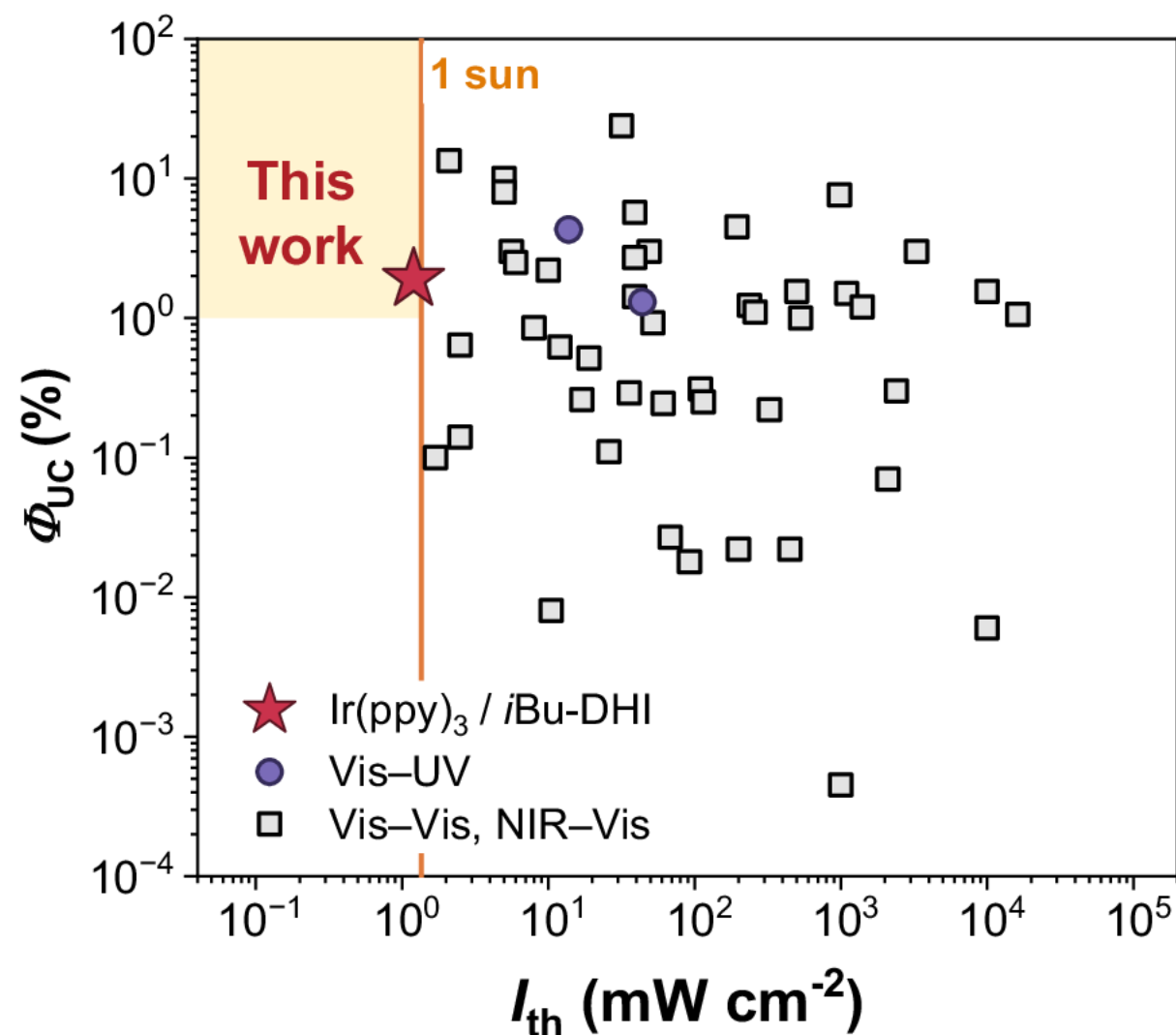


絶対量子収率測定

( $\lambda_{ex} = 445$  nm、浜松ホトニクス様のご協力で測定)

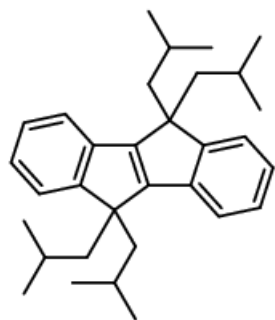


Ir(ppy)<sub>3</sub>/iBu-DHIでは UC 量子収率が高い

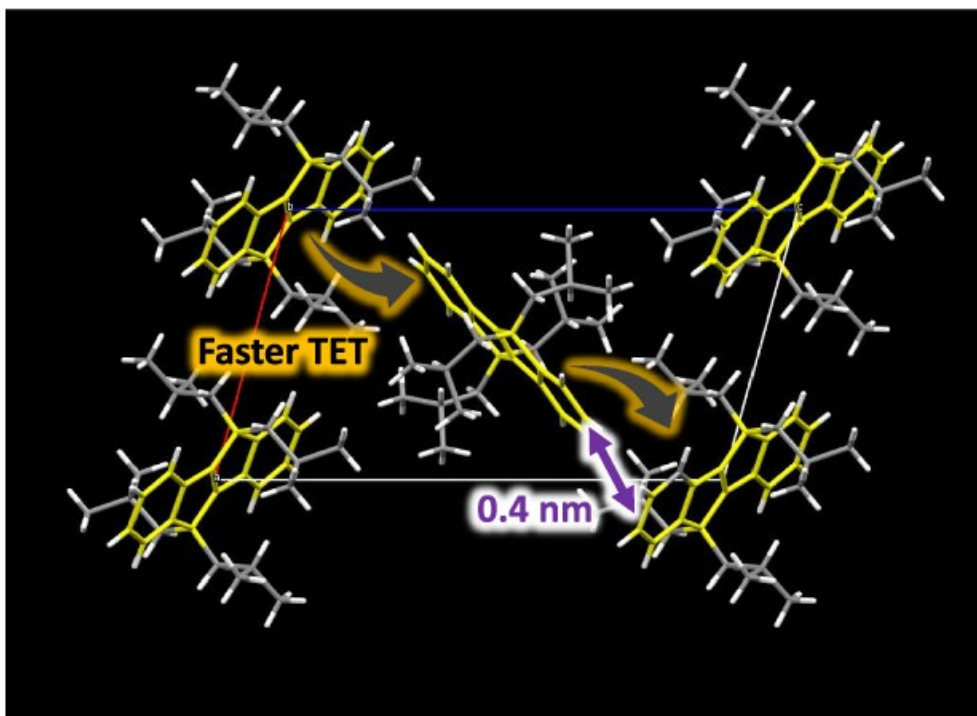
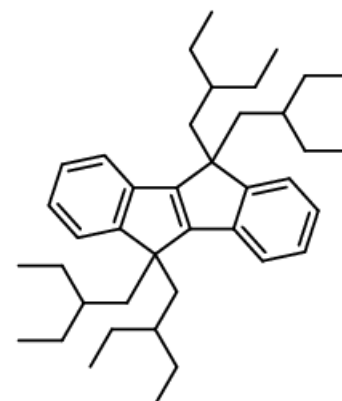


太陽光程度の弱い光でも駆動し高効率に可視光を紫外光に変換する固体材料を実現

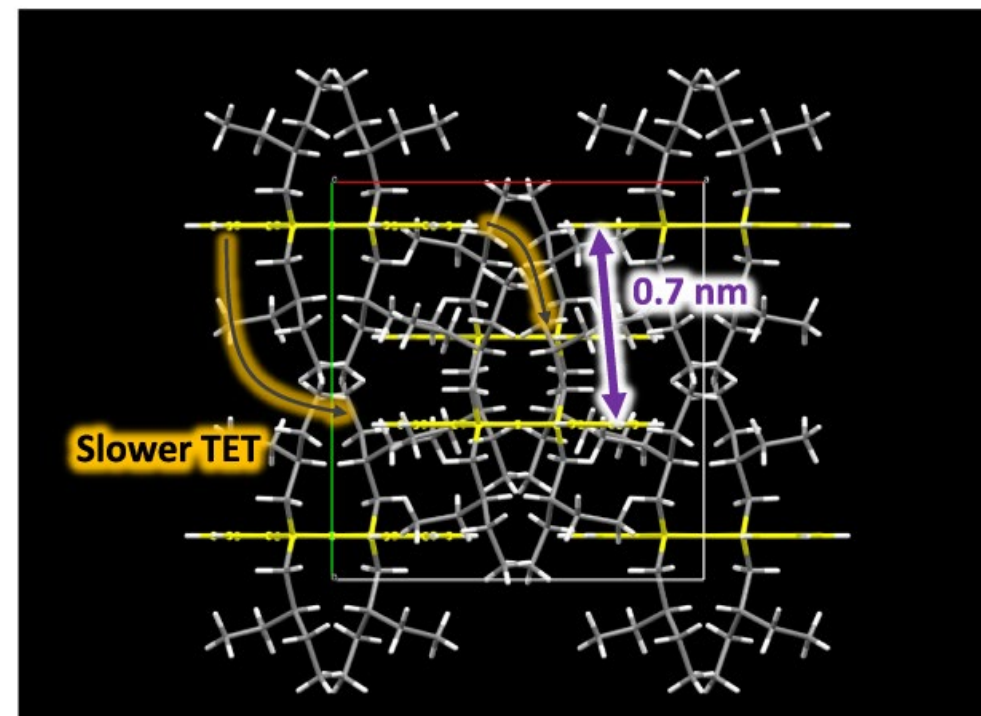
## 単結晶構造解析



*i*Bu-DHI



2-EtBu-DHI



*i*Bu-DHIは三重項のエネルギー移動に有利な配置になっている

# 新技術の特徴・従来技術との比較

- これまでに、可視光から紫外光への効率的な変換は報告されてきたが、太陽光程度の弱い光で効率的に駆動する固体材料の開発は困難であった。また、比較的効率が高いものでも、成膜に温度と時間のコントロールが必要となっていた。
- 本材料は簡便な手法で作製でき、太陽光程度の弱い光で効率的に駆動する点に優位性がある。

## 想定される用途

- 本技術は紫外光で駆動する光触媒と複合化することで太陽光・室内光による環境浄化（殺菌・脱臭など）に応用が可能と考えられる。
- 上記以外に、太陽光による水素製造などエネルギー分野への応用も期待される。

## 実用化に向けた課題

- 光触媒系との組み合わせにより十分な効果が得られるかは検証段階。
- 太陽光発電やバイオロジー分野への応用には近赤外光から可視への変換に展開する必要がある。
- 結晶性材料であるため、光散乱による透明性の低下が問題となる。
- 実用化に向けて、脱酸素条件下での封止技術を確立する必要もあり。

## 企業への期待・貢献

- 広く活用していただくための化合物の市販化
- フォトン・アップコンバージョンに関する評価について、技術指導など個別の相談も受け付けています。

## 本技術に関する知的財産権

- 発明の名称 : フォトン・アップコンバージョン材料
- 出願番号 : 特願2025- 22314
- 出願人 : 国立大学法人九州大学
- 発明者 : 君塚信夫、佐々木陽一、原田直幸、庄山隼斗、ブンマンナッタニシャー、水上輝市、澤田侑星

# お問い合わせ先

九大OIP株式会社  
サイエンスドリブンチーム

T E L 092-400-0494  
e-mail [transfer@airimaq.kyushu-u.ac.jp](mailto:transfer@airimaq.kyushu-u.ac.jp)