

# NEDO再生可能エネルギー分野成果報告会2025 プログラムNo.2-5

太陽光発電主力電源化推進技術開発/  
多接合型等を対象とした太陽電池の開発/

## シースルー型有機薄膜太陽電池の高効率化 およびモジュール化技術開発

発表：2025年7月16日

国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構

尾坂 格

(国)広島大学、(国)金沢大学(再委託)、(株)麗光

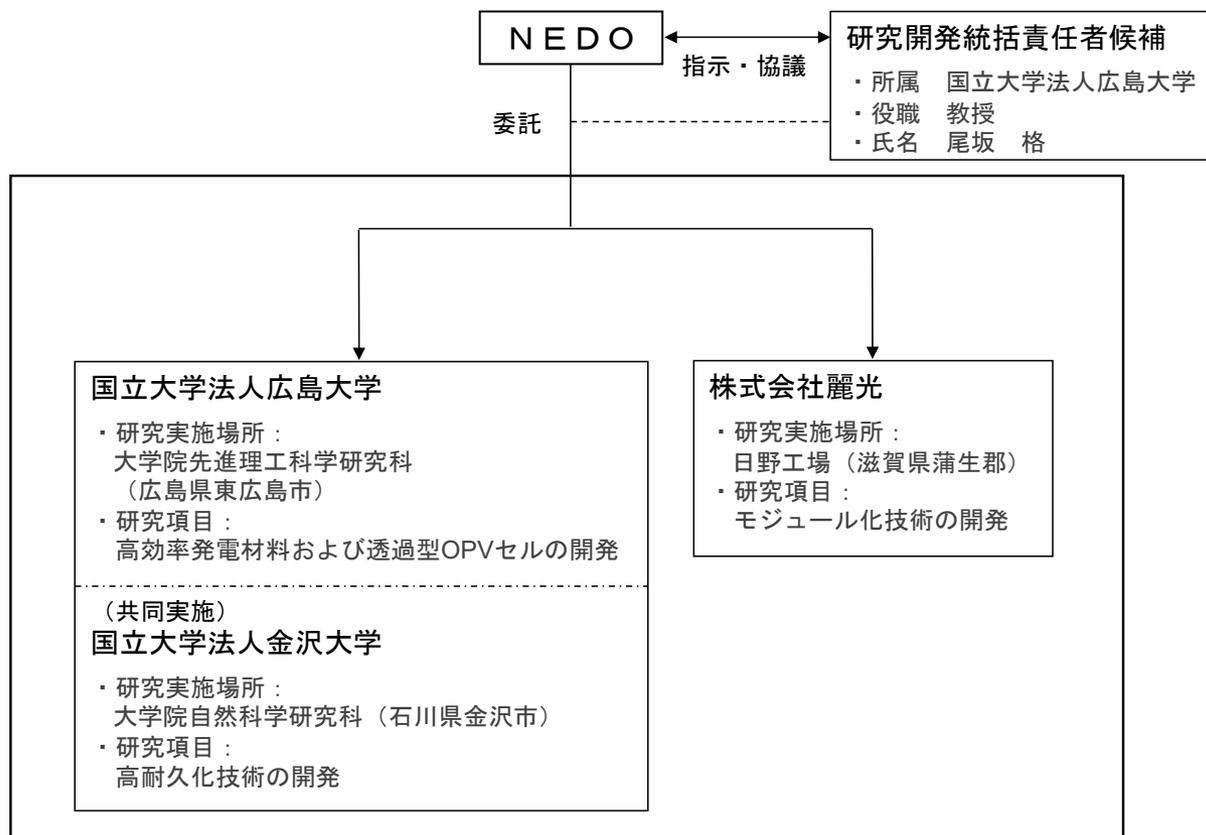
問い合わせ先：国立大学法人広島大学、 E-mail: iosaka@hiroshima-u.ac.jp

# 本研究課題の概要と実施体制

## 研究開発の概要：

本課題では、本質的に光透過性を有するOPVを用いて、光透過率と変換効率のトレードオフ解消を推進する。具体的には、広島大学にて高効率発電材料の開発を進め、光透過率と変換効率を両立するOPVセルを開発する。また、金沢大学との共同実施により高耐久化技術の開発を行う。さらに、麗光では開発する高効率材料を用いたミニモジュールを作製する。

## 実施体制：

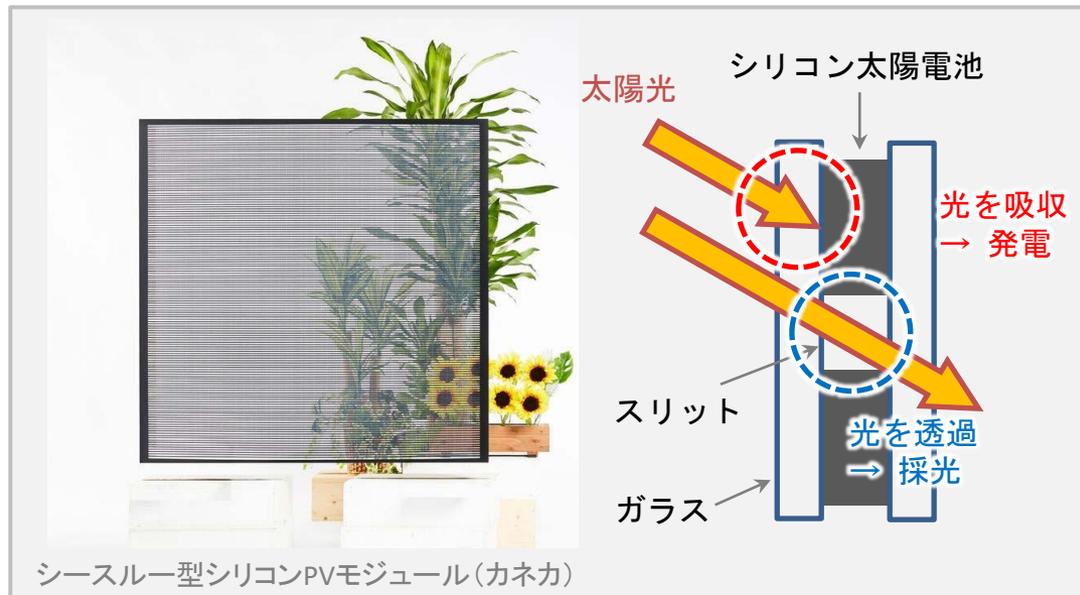


# 研究開発のコンセプト

## シリコン、ペロブスカイト

- 光透過性がないため、スリット加工により採光
  - 製造工程の増大
  - 発電層端面の影響
- 鉛の問題（ペロブスカイト）

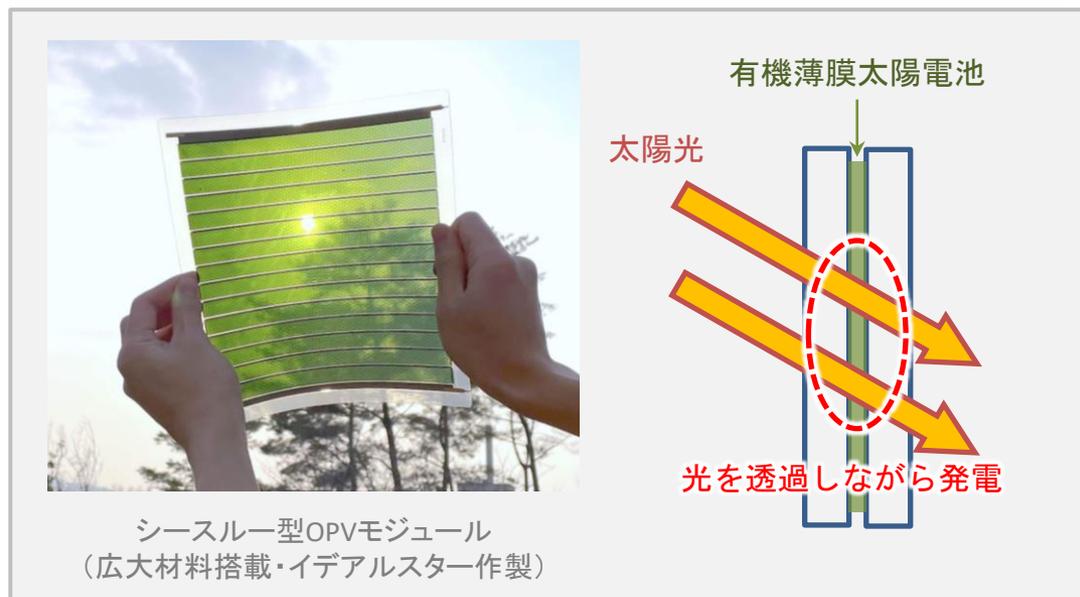
光透過率と変換効率の両立困難  
高コスト



## 有機薄膜 (OPV)

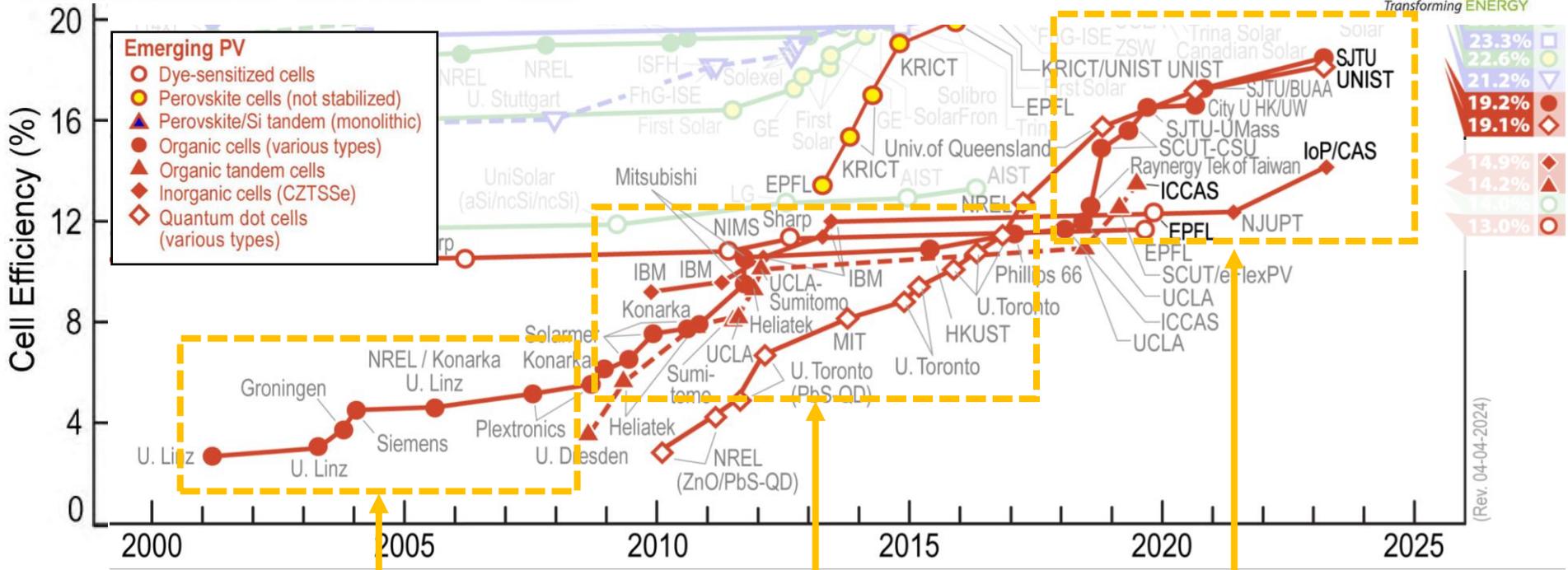
- 発電層が薄いため、本質的に光透過性を有する
- 吸収帯の制御が容易なため、色味や可視光透過率を調整可能
- 塗布プロセスで作製可能

光透過率と変換効率の両立  
低コスト化可能



# OPVの進展：材料開発の重要性

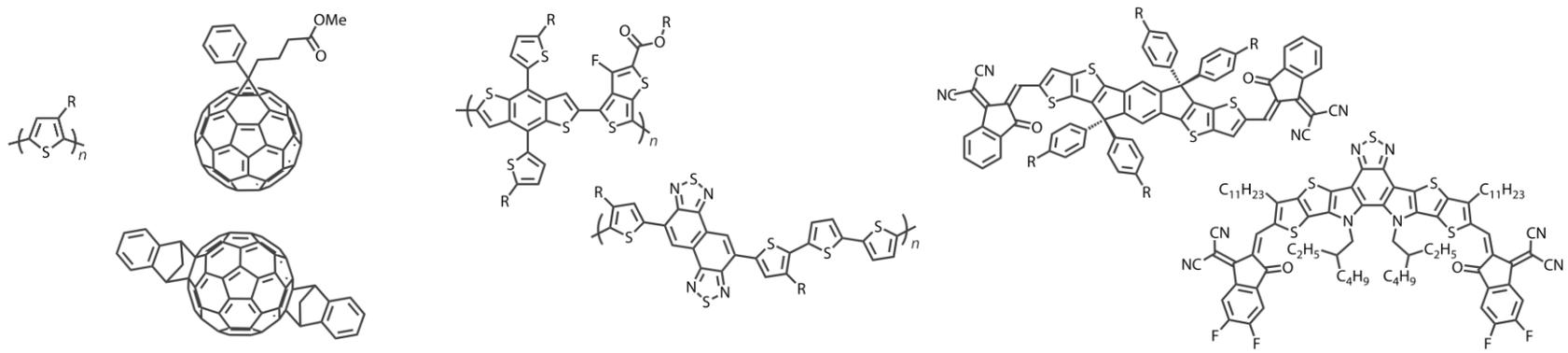
## Best Research-Cell Efficiencies



ポリチオフェン/フラレン

D-A ポリマー/フラレン

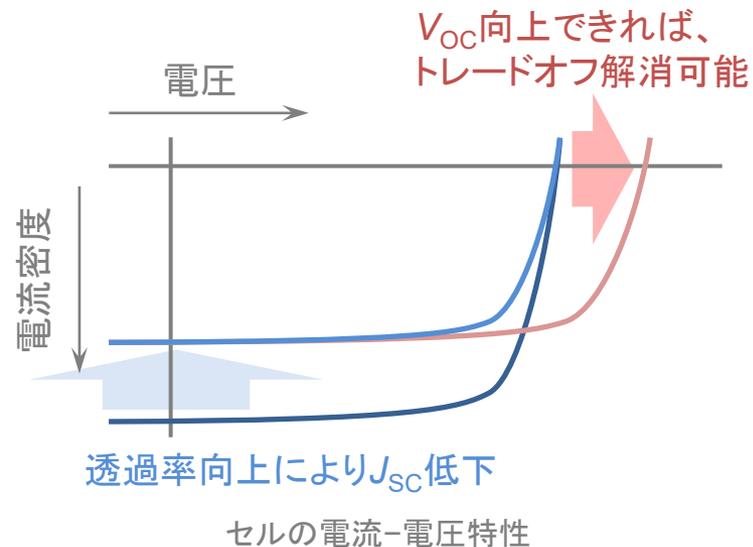
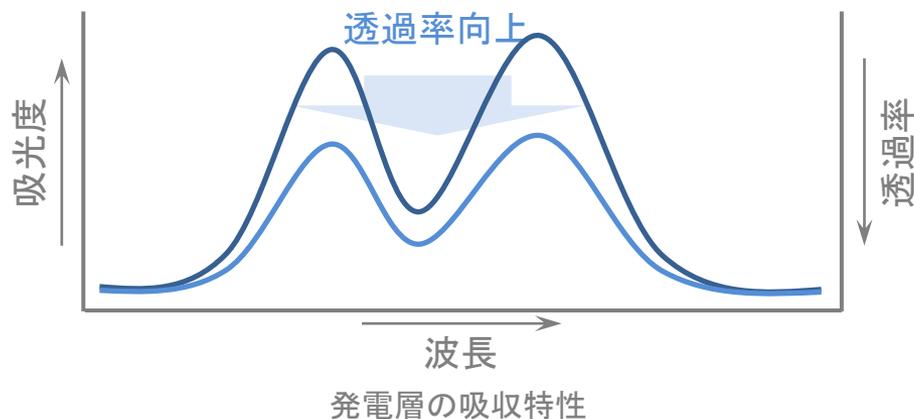
D-A ポリマー/非フラレン



# 技術的課題：光透過性と変換効率のトレードオフ

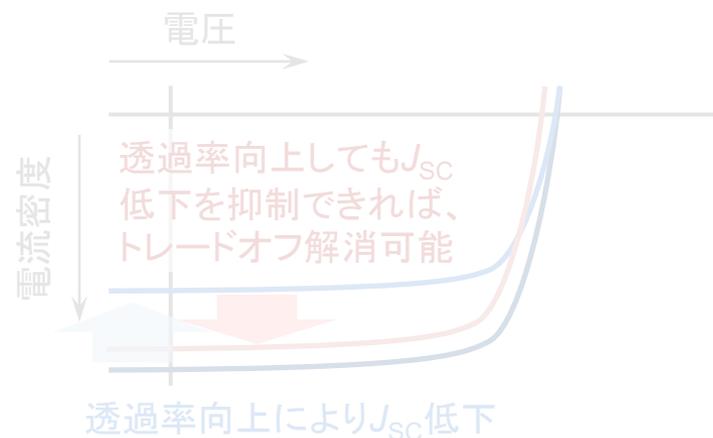
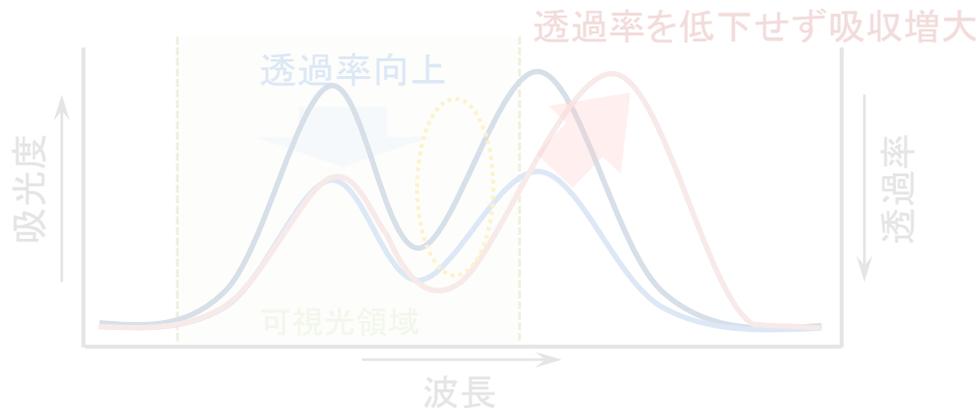
## $V_{OC}$ の向上

→ 透過率向上による $J_{SC}$ の低下は不可避のため



## 近赤外吸収増大

→ 透過率向上による $J_{SC}$ の低下を抑制するため



# 技術的課題：色味、材料コスト、意匠性

## 吸収帯（色味）の制御

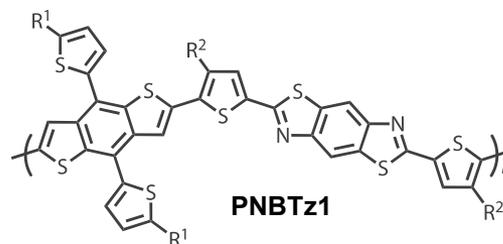
特にユーザーに好まれる色

1. グレー
2. ブルー系（日本）

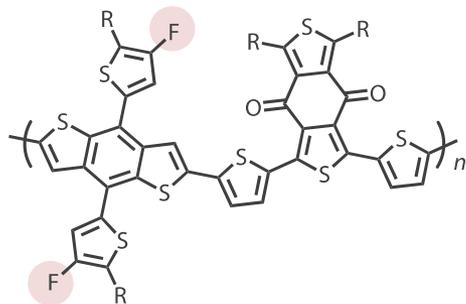
ただ、用途や国によって好まれる色は様々

広島大学開発ドナーは赤系の色

→ 色味を変えた方が受け入れられやすい可能性

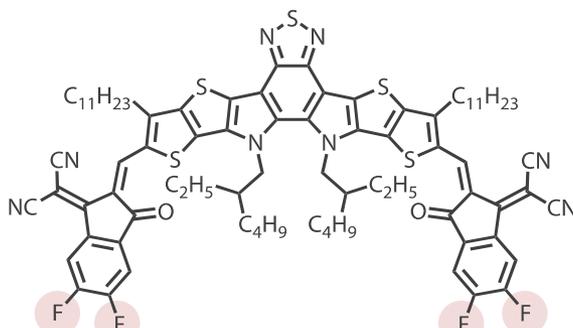


## 材料のコストダウン



ベンチマークドナーポリマー (PM6)

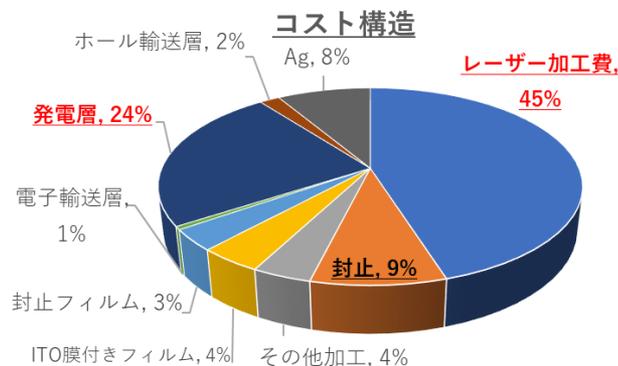
合成ステップ数: > 15



ベンチマーク非フラーレン (Y6)

合成ステップ数: > 15

- 合成ステップ数が少ない材料の開発は必須
- フッ素導入も高コスト化の要因となるため、脱フッ素も重要



広島大学では従来、非フッ素型ドナーを開発（例えば、上記PNBTz1など）

## 広島大学

### A. 高効率発電材料および透過型OPVセルの開発研究

A-1. 高電圧型ドナー材料の開発

A-2. 吸収帯を制御した(青色)ドナー材料の開発

A-3. 低コストドナー材料の開発

A-4. 非透過型セル用電極技術の開発

A-5. 高耐久化技術の開発(金沢大学共同実施)

## 麗光

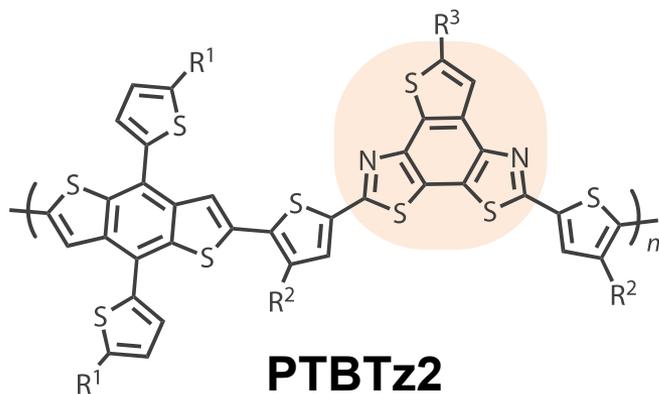
### B. モジュール化技術の開発研究

B-1. シースルー型ミニモジュールの開発

B-2. モジュール化技術の開発

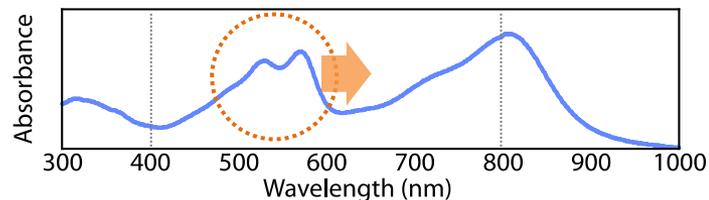
# A-1, 2. 高電圧型および青色ドナー材料の開発

## NEDO先導研究Pにて開発したドナー材料

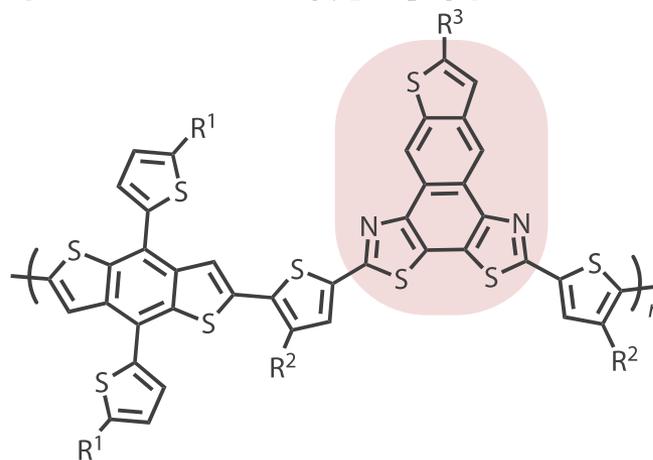
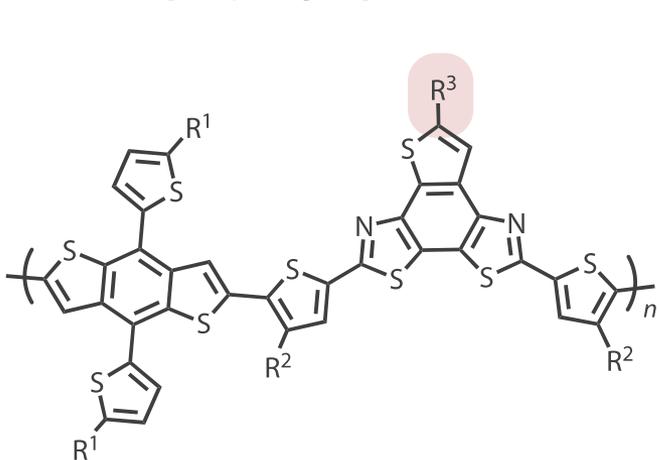


PCE = ~15%,  $V_{OC}$  = ~0.87 V

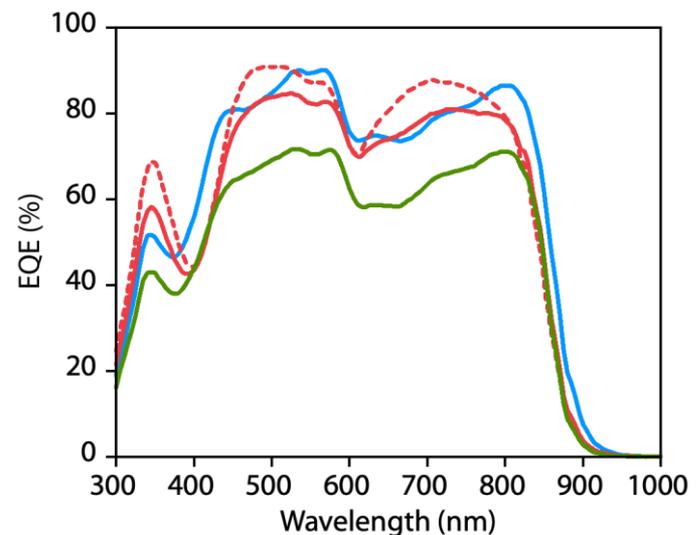
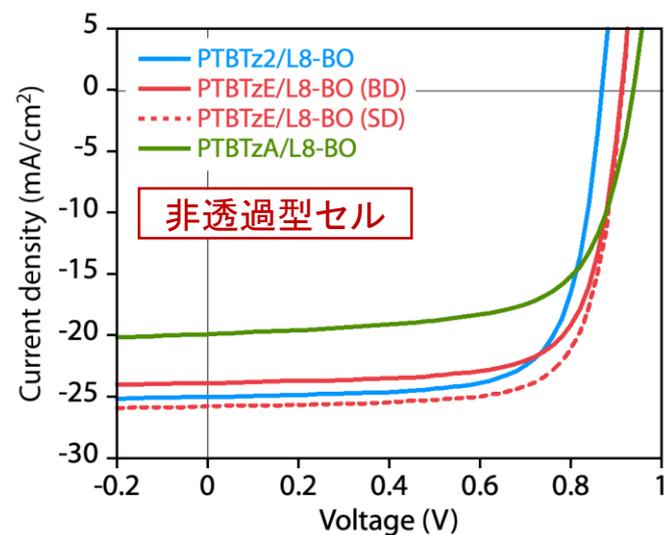
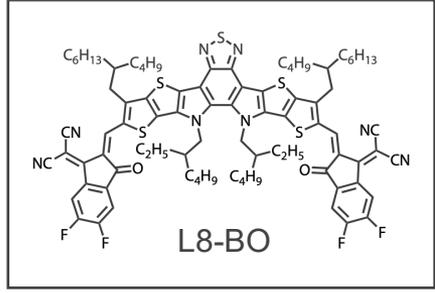
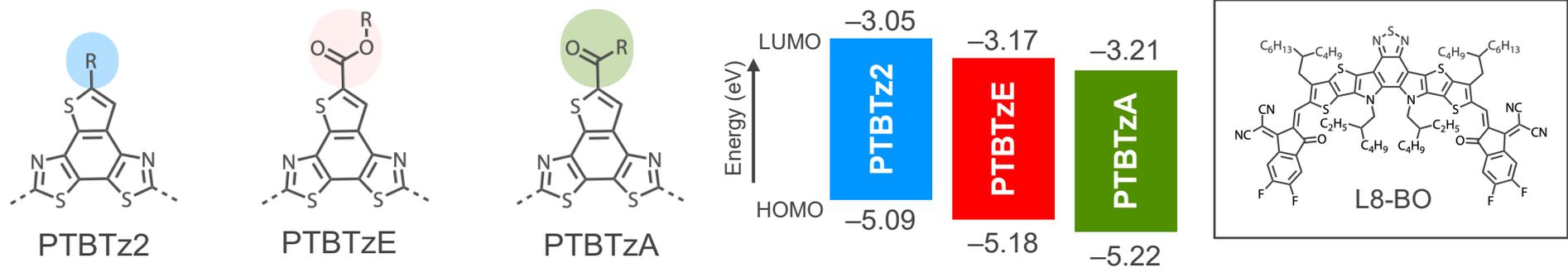
特許出願済; *Adv. Sci.*, **2023**, 10, 2205682.



## 本研究にて開発検討したドナー材料 (PTBTz2誘導体)



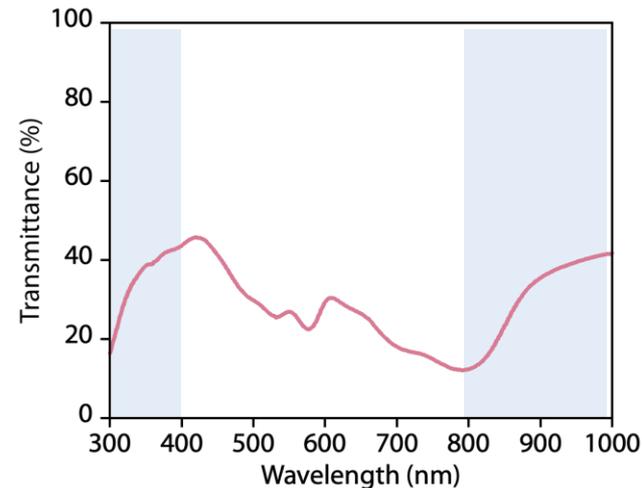
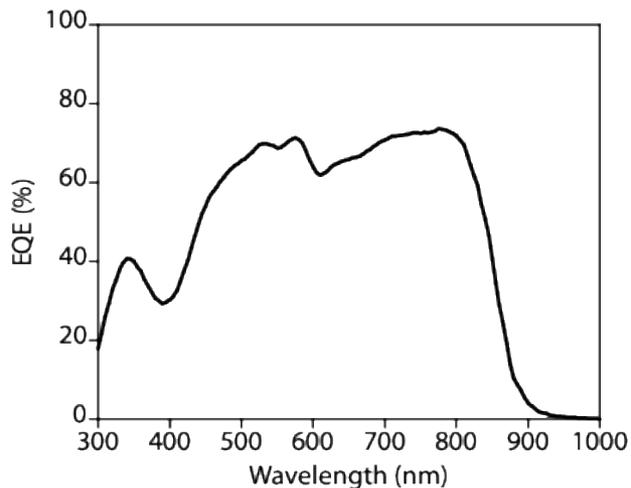
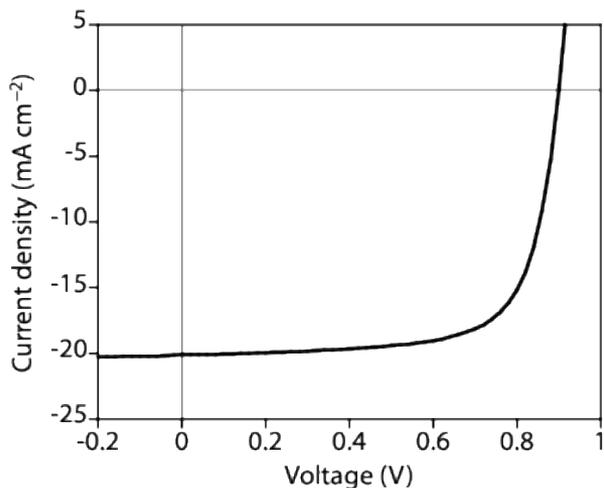
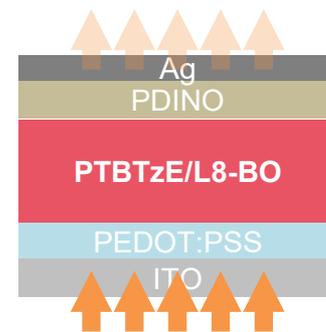
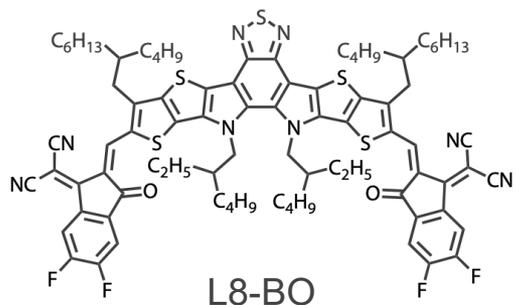
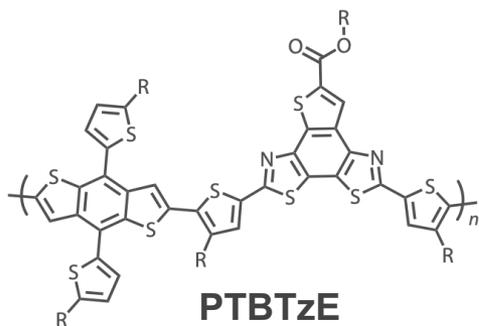
# A-1. 高電圧型ドナー材料の開発 (PTBTz2の改良)



ドナー	製膜法	溶媒 <sup>a)</sup>	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	PCE (%)	$V_{loss}$ (V)
PTBTz2	混合 (BD)	CF/DIO	25.0	0.868	0.727	15.8	0.52
PTBTzE	混合 (BD)	CF/DIM	23.9	0.911	0.727	15.8	0.49
PTBTzE	逐次 (SD)	CF/DIM	25.8	0.913	0.739	17.4	0.48
PTBTzA	混合 (BD)	CF/DIM	19.9	0.938	0.669	12.5	0.46

<sup>a)</sup> CF = chloroform, DIO = 1,8-diiodooctane, DIM = diiodomethane

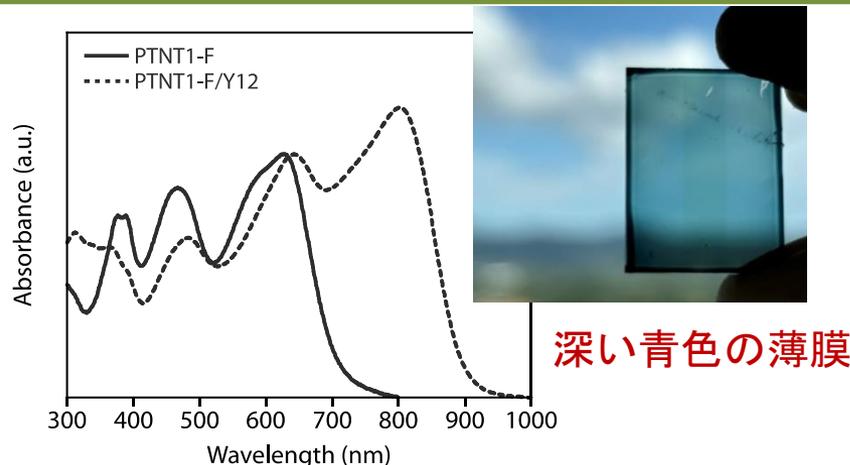
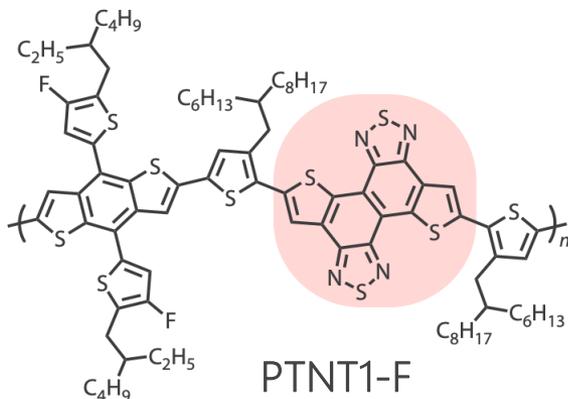
# A-1. PTBTzEを用いた透過型セル



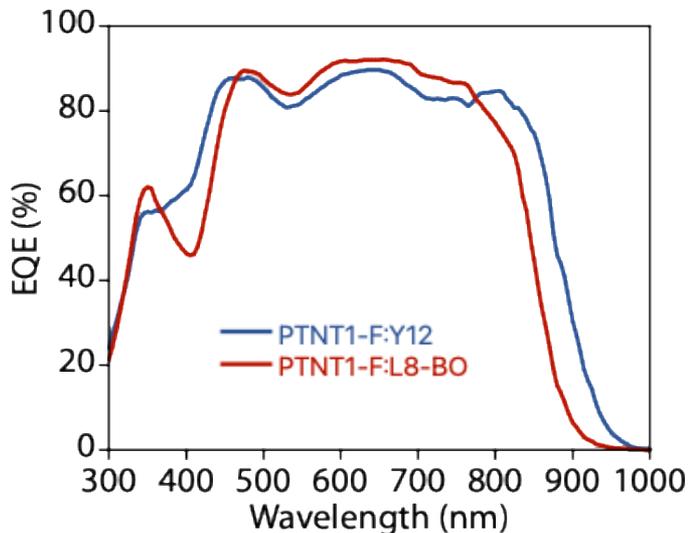
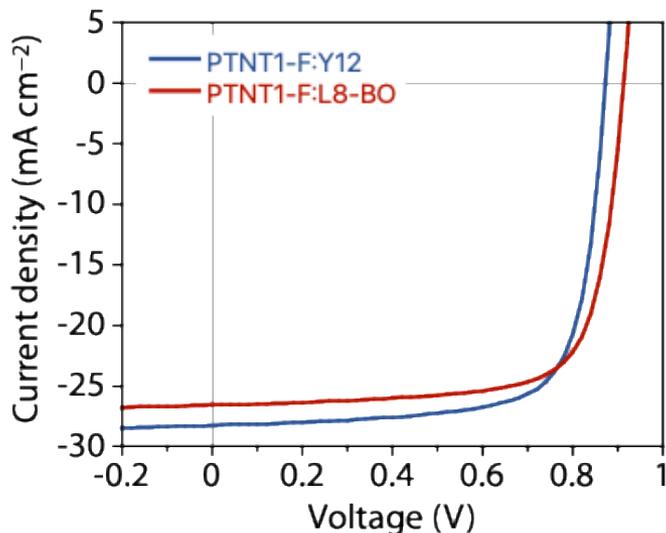
膜厚 (nm)	Ag電極 (nm)	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	PCE (%)	AVT (%) <sup>a</sup>	LUE (%) <sup>b</sup>
~70	~10	20.1	0.900	0.711	12.9	32	4.13

<sup>a)</sup> AVT = Average Visible Transmittance, <sup>b)</sup> LUE = Light Utilization Efficiency = PCE × AVT

# A-1,2. 高電圧型青色ドナー材料の開発

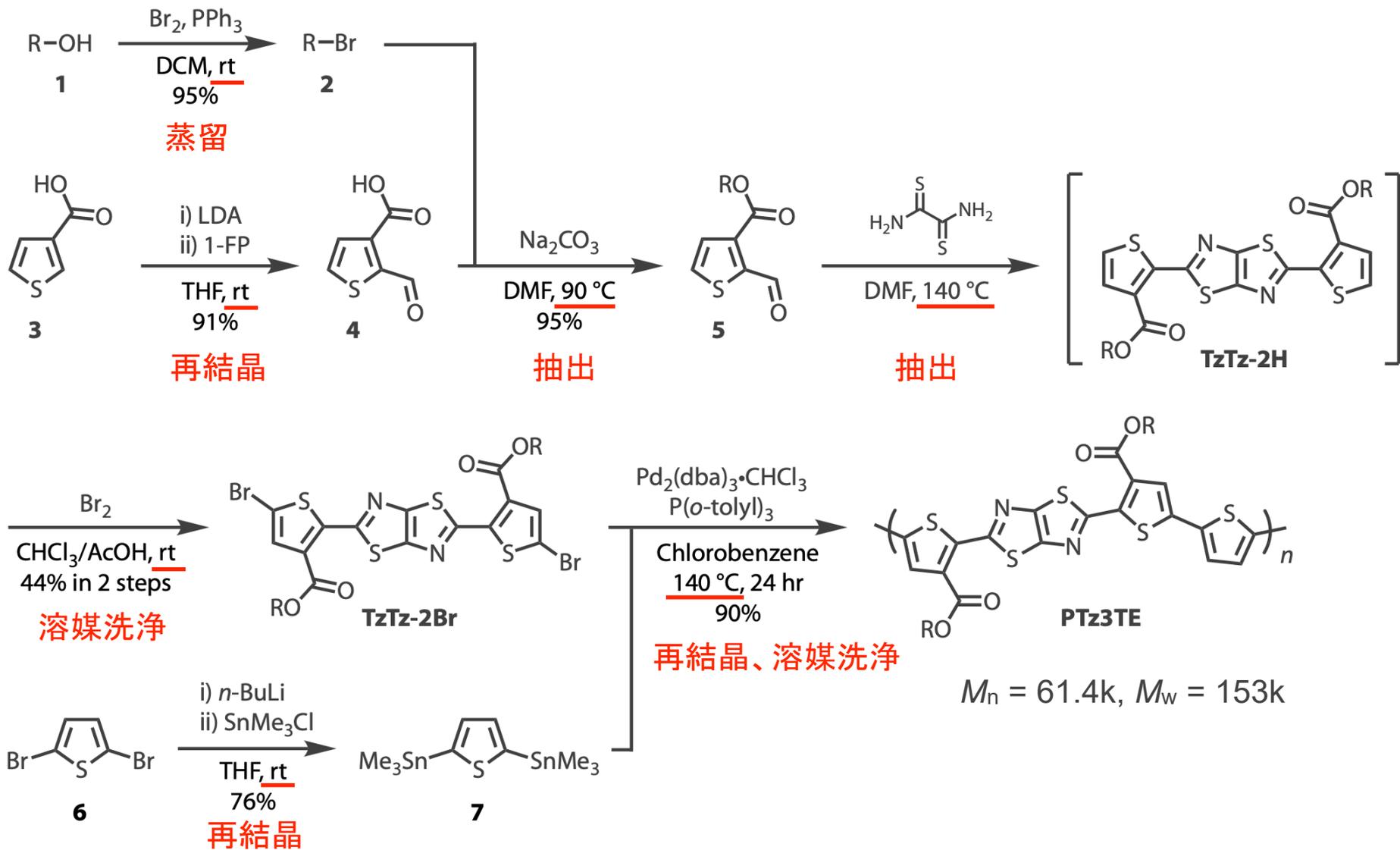


ITO/PEDOT:PSS/発電層/PNDIT-F3N-Br/Ag

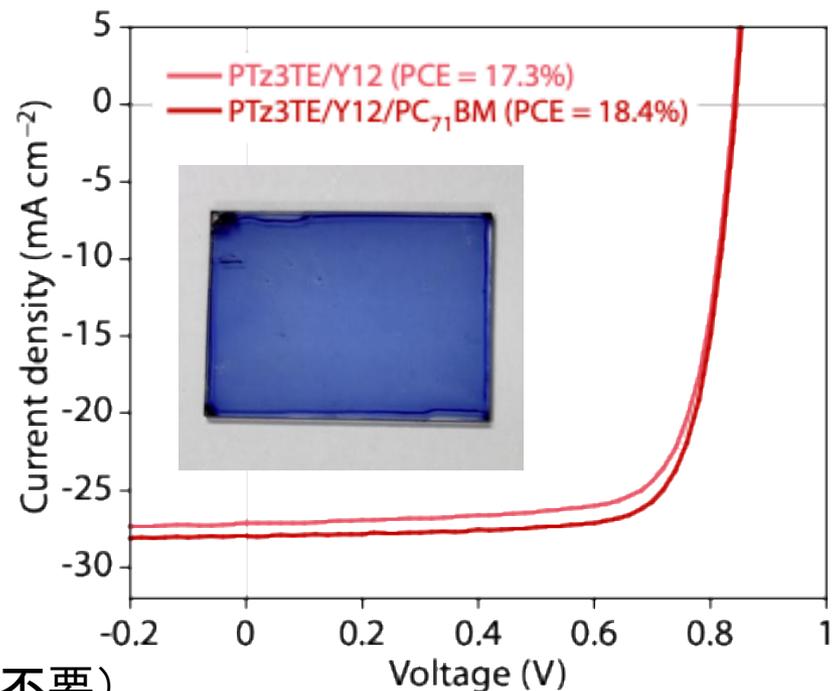
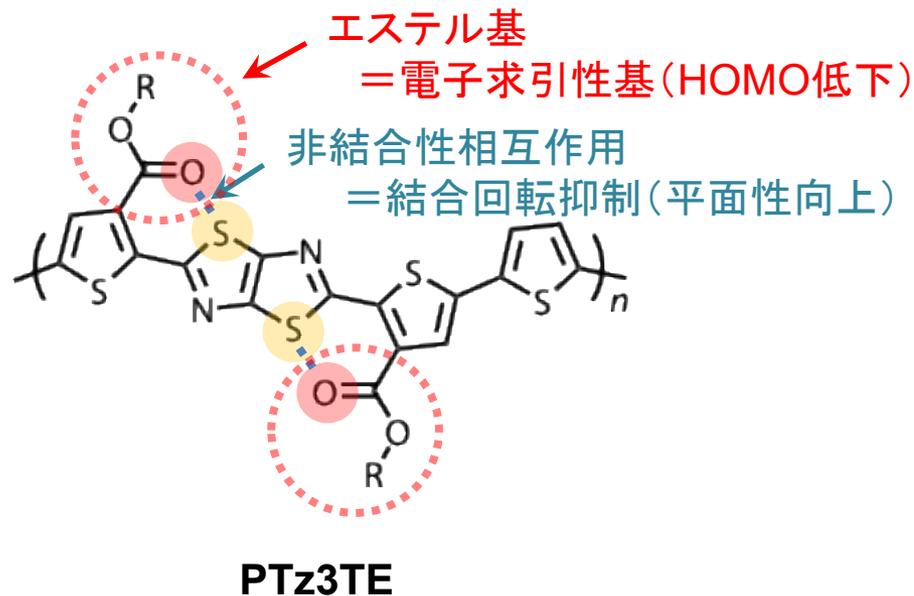


発電層	$J_{sc}$ (mA cm <sup>-2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	PCE (%)
PTNT1-F/Y12	28.9	0.88	0.73	18.5
PTNT1-F/L8-BO	26.6	0.91	0.74	18.0

# A-3. 低コストドナー材料の開発



# A-3. 低コストドナー材料の開発

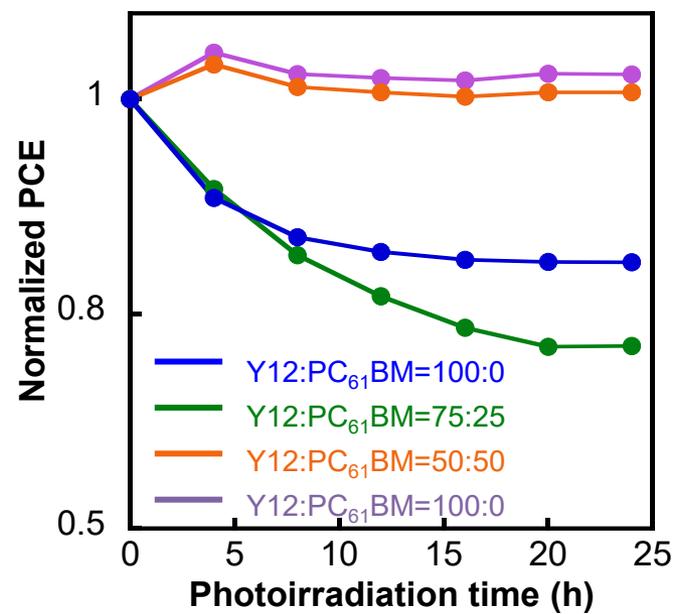


- ✓ 7ステップで合成可能 (低温反応・カラム精製不要)
- ✓ 最大18.4%の変換効率 (非透過型セル)
- ✓ 窓に適した青色薄膜

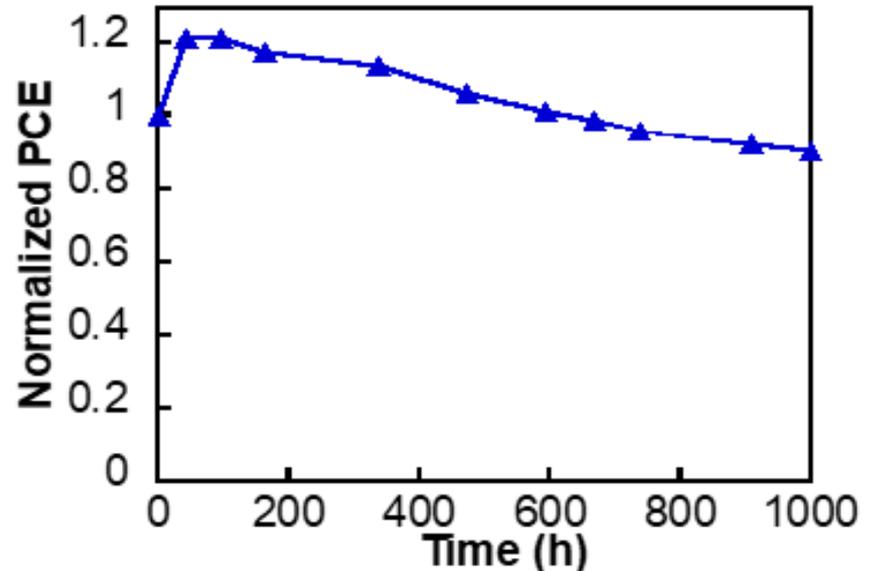
発電層	$J_{SC}$ (mA cm <sup>-2</sup> )	$V_{OC}$ (V)	FF	PCE (%)
PTz3TE/Y12	27.1	0.840	0.762	17.3 [16.7]
PTz3TE/Y12/PC <sub>61</sub> BM	27.9	0.843	0.764	18.0 [17.6]

# A-5. 高耐久化技術の開発 (金沢大学共同実施)

素子構造: ITO/ZnO/発電層/PEDOT:PSS/Ag/バリア膜

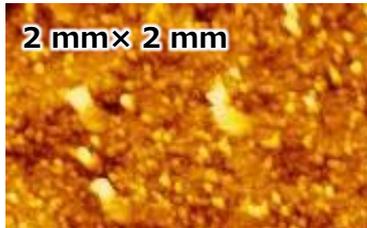
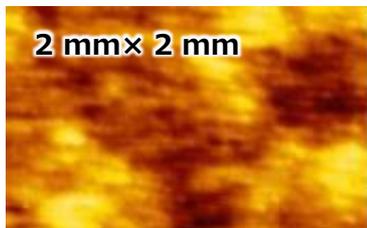


連続光照射試験



高温多湿試験 (85°C/RH85%)

PC<sub>61</sub>BMを加えた素子は、1000時間後でも初期性能の91%を保持



24h連続光照射後の発電層のAFM像  
左)PC<sub>61</sub>BMあり 右)PC<sub>61</sub>BMなし

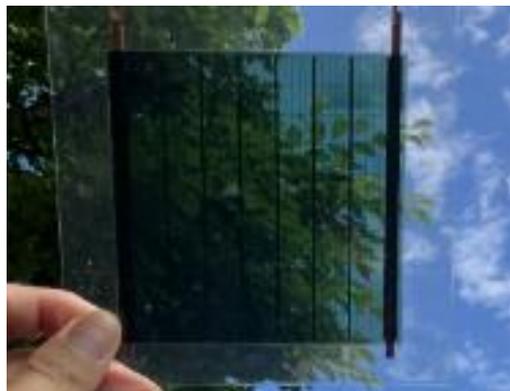
PC<sub>61</sub>BMの添加はNFAの凝集を妨げ、劣化を抑制可能

# B-1. シースルー型ミニモジュールの開発

＜従来構造のミニモジュール＞

サイズ: 100 mm × 100 mm)

構成: ITO/ZnO/発電層/HTL/Agメッシュ



＜開発した新構造のミニモジュール＞

サイズ: 100 mm × 100 mm)

構成: ITO/ZnO/発電層/導電性ポリマー



PM6:Y12  
(透過率 = 11.6%, PCE = 7.58%)

ドナーX:Y12:PC<sub>61</sub>BM  
(透過率 = 20.8%, PCE 6.6%)

## 開発したミニモジュールの特性

発電層	透過率 [%]	$P_{\max}$ [mW]	$V_{oc}$ [V]	$I_{sc}$ [mA]	FF	PCE [%]	LUE [%]
PM6:Y12	11.6	523.1	15.0	61.5	0.57	7.58	0.88
PM6:Y12:PC <sub>61</sub> BM	22.7	483.1	16.3	50.5	0.59	7.00	1.59
ドナーX:Y12:PC <sub>61</sub> BM	32.7	402.6	14.6	44.3	0.62	5.83	1.90
	20.8	427.6	14.7	52.8	0.55	6.60	1.38

## ■課題と今後の取組

- モジュールの高性能化と耐久性改善  
(目標:モジュール効率>10%、10年以上の耐久性)
- モジュールの低コスト化
- システム構成や設置・利用法の確立



- 高効率かつ低コストな材料の開発
- HTLやETL、透明電極の最適化、発電層構成の最適化
- 実環境下での実証実験

## ■実用化・事業化の見通し

- 開発したモジュールの特長
  - 従来用いられていたAgメッシュのような電極を用いないデザイン性の高いOPVモジュール
  - ベンチマーク同等の性能
- 期待される効果
  - 既存設備に後付け可能なため、導入が容易
  - 両面発電、遮熱による省エネ効果など

材料開発などによる低コスト化を進め、2030年以降の実用化を目指す