

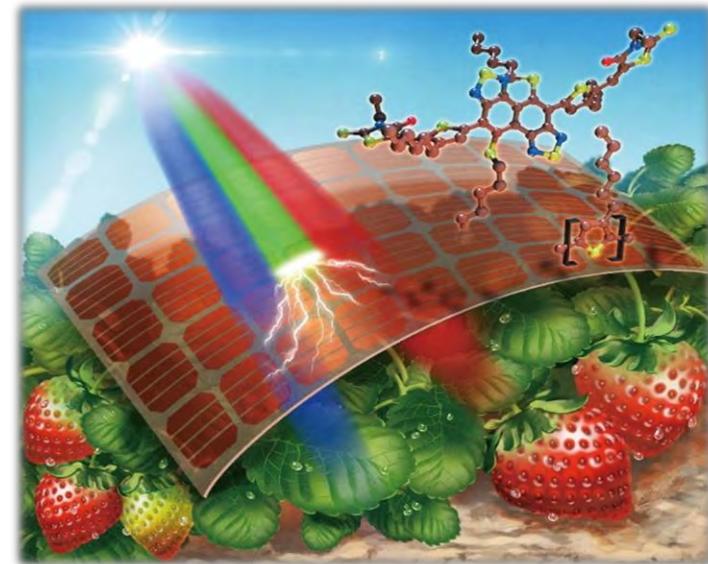
光合成に必要な光を透過する 農業ハウス用途の波長選択型有機太陽電池の開発

公立諏訪東京理科大学 工学部
渡邊 康之



共同研究機関

大阪大学 産業技術研究所
大阪大学大学院・工学研究科
大阪大学・社会技術共創研究センター
大阪公立大学・農学研究科



有機太陽電池 (Organic Solar Cell : OSC) の特長



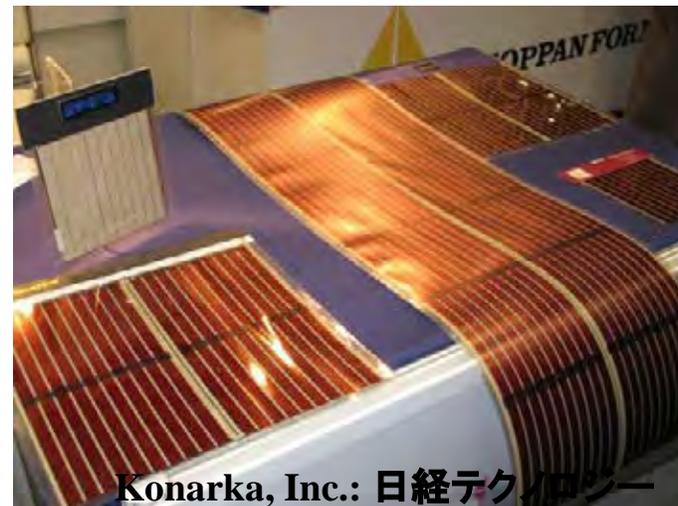
軽量



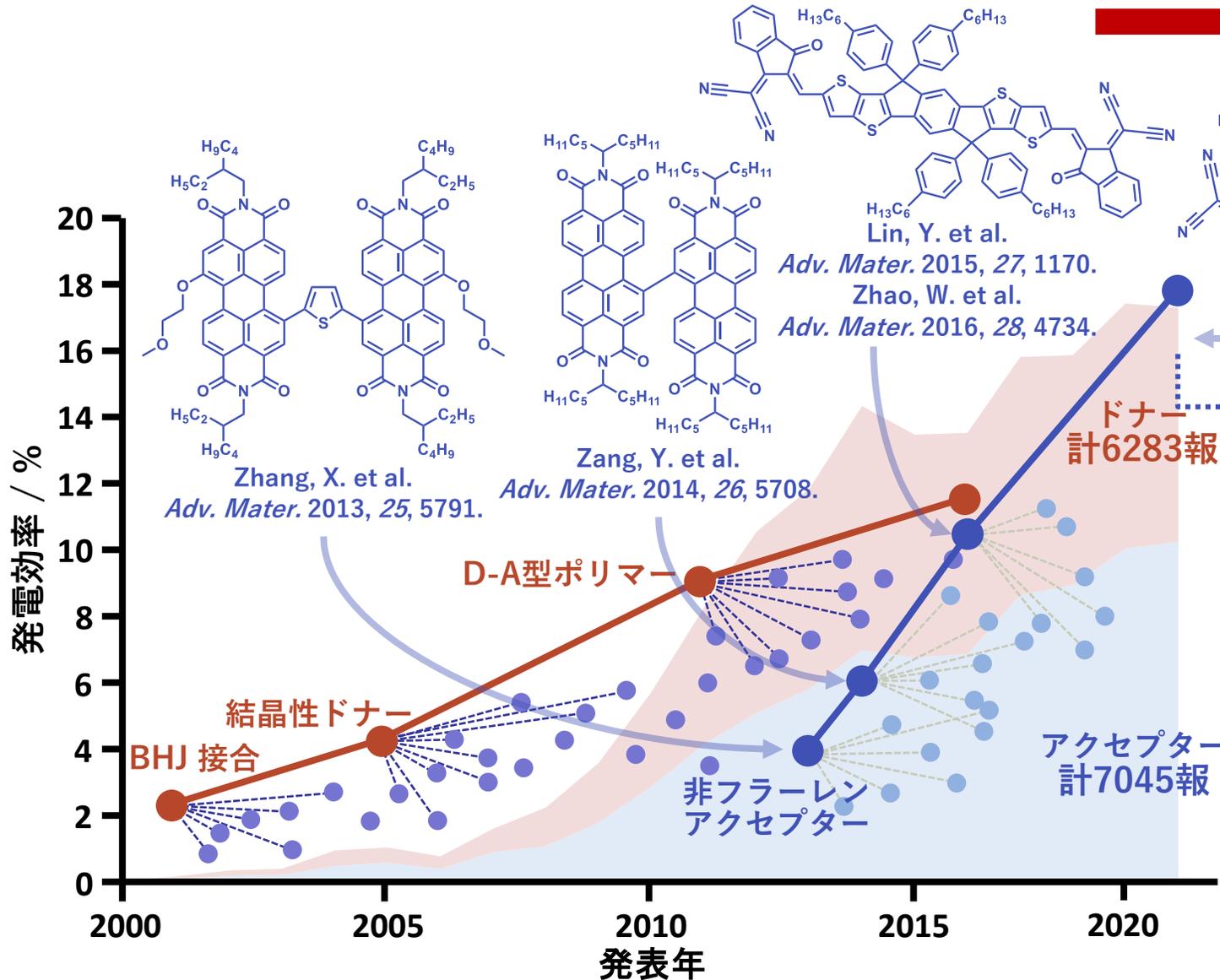
フレキシブル



デザイン性・意匠性



有機太陽電池の活性層材料と発電効率の変遷



シリコン型太陽電池
(社会普及水準)に匹敵

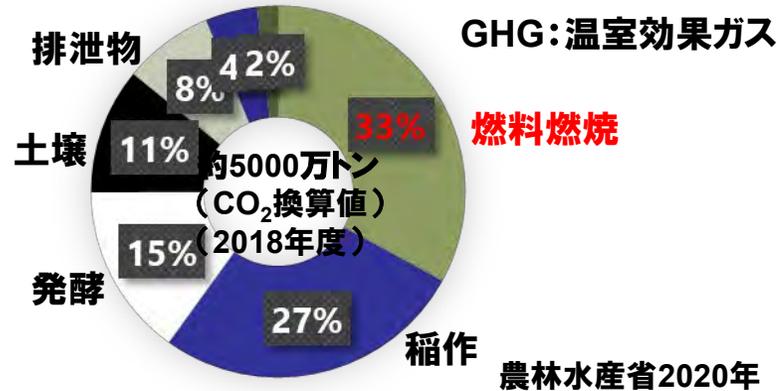
社会実装に向けた課題

- 高性能材料の追求
- 耐久性材料の追求
- 大規模化に適した活性層材料の開拓
- 環境・生命に適合する材料の開拓

【研究背景】 エネルギー安全保障 & 食料安全保障

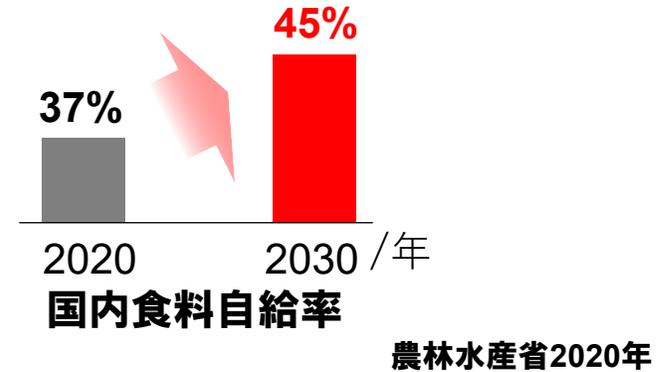
エネルギー

国内の農林業分野で**5,000万トン**のGHG排出
燃料燃焼が約**33%**を占める



食料

国内の食料自給率は**37%**
先進国で最低レベル



GHG削減に向けた課題

国内農業のエネルギー源の**95%**は
化石燃料(重油、ガソリン、灯油)

- ・化石燃料漬け
- ・農耕地のインフラ設備が脆弱

農林水産分野からの課題

安定な食料需給の確保

- ・国内の低い食料自給率
- ・農作物輸入リスク

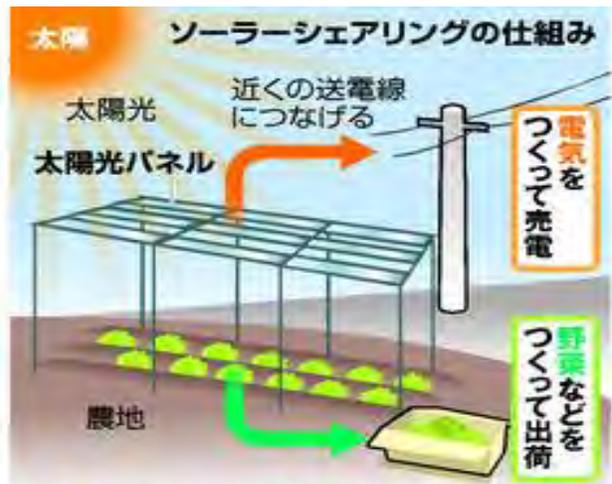
- ✓ 農業用ハウスで使用する化石燃料の大幅削減
- ✓ 農作物の収穫量の増加

社会課題の解決に貢献できる革新的技術が不可欠

【従来技術】 営農型太陽光発電の課題

生き残るソーラーシェアリングには多様な作物に対応できることが重要

- 太陽光パネルの下で従来の収穫量が得られない
- 遮光率が高くて生育する特定の作物が選ばれる傾向
- 太陽光パネルの下で育成する品種に限界がある



ソーラーシェアリングの撤退理由から見る、生き残る条件 (2020年7月21日)
EnergyShift編集部

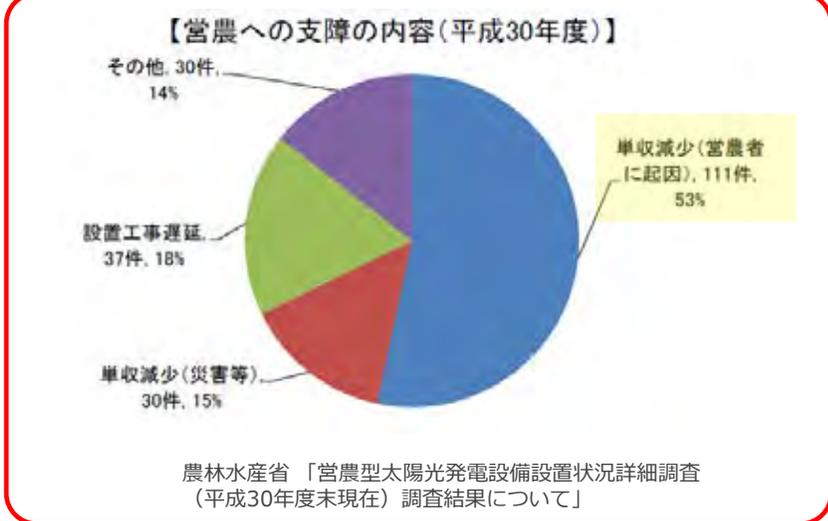
<https://energy-shift.com/news/ea49f7b9-e628-4ac3-88ce-c59e23c4fdbb>

【貴農業委員会は「ソーラーシェアリング」について、どのように考えていらっしゃいますか】

問 1 0		
a. 耕作放棄地の解消につながると思う。	197	16.8%
b. 農家の後継者の確保につながると思う。	34	2.9%
c. パネルの下で新しい特産物が生まれると思う。	16	1.4%
d. エネルギーの地域自給につながると思う。	111	9.5%
e. 景観の破壊につながると思う。	212	18.1%
f. 農作物市場にひずみを生じさせると思う。	7	0.6%
g. 太陽光パネルの下で十分に営農できないと思う。	690	58.8%
h. わざわざ農地の上で太陽光発電をしなくてもいいと思う。	564	48.0%
i. その他(自由にお書きください)	194	16.5%
n= 1174		

ソーラーシェアリング全国調査結果報告書 (2019年2月)
千葉大学倉阪研究室・NPO 法人地域持続研究所

- 利点**
- 再生可能エネルギーの普及に貢献
 - 農家に新たな収入源
- 課題**
- パネルの大きさが農作物の生育に影響



農作物に影響をつくらない
ソーラーマッチングで解決!

【新技術】 農業用ハウスに向けた波長選択型有機太陽電池

- ✓ 同一土地における発電と農業の完全両立を実現する技術
- ✓ 再生利用可能エネルギーを活用した地産地消型エネルギーシステム

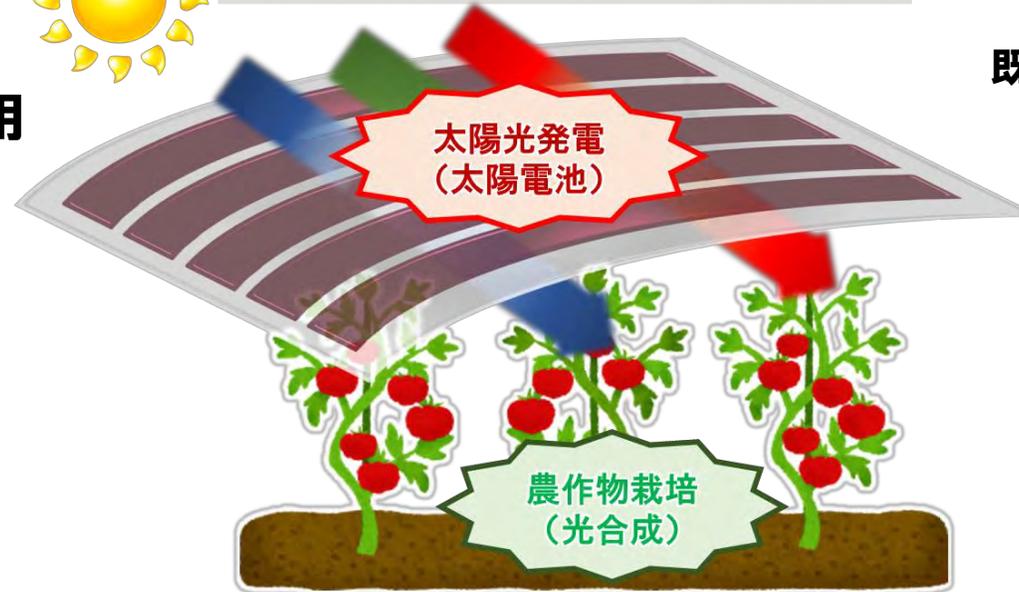
青、赤色光：農作物の生育に利用
緑色、近赤外光：発電に利用



有機半導体の構造修飾で
波長選択性の付与が可能



太陽光発電と農作物栽培の両立



既存太陽電池の農業用途での課題
シリコン太陽電池
→波長選択性無、重い、
廃棄が困難

ペロブスカイト太陽電池
→波長選択性無、有毒
廃棄が困難

波長選択型有機太陽電池の特徴

- 約0.8 kg/m²と軽量なので、農業用ハウスに設置可能
- 発電と農作物生育の波長帯域を分離することで、太陽エネルギーを効率的に利用
- 透過型で日陰による影響がないため、農地面積が確保可能
- 波長選択光で農作物の単収がむしろ増加

【目指すべき姿】 農業用ハウスに向けた波長選択型有機太陽電池

国土を保全し、エネルギーと食料の両方の持続性を確保
社会課題：農業用ハウスに太陽電池の機能を付与したシステム



自然災害に強いエネルギー



環境に優しいエネルギー，土地の有効利用



都市農業の実現



農業用ハウスで発電



スマート農業の実現



食料の安定確保

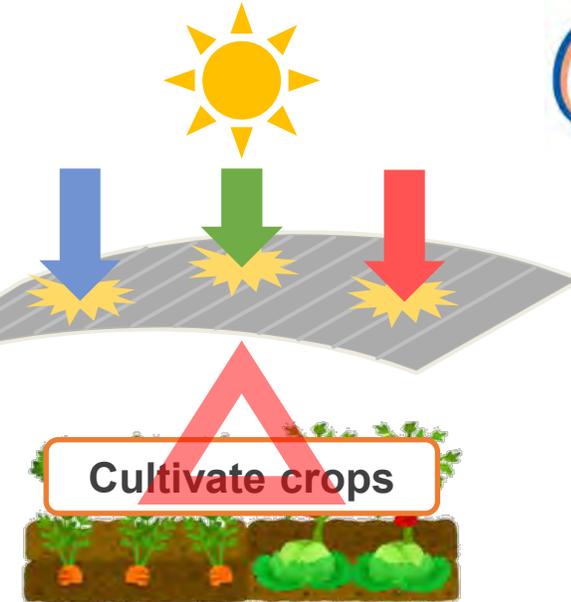
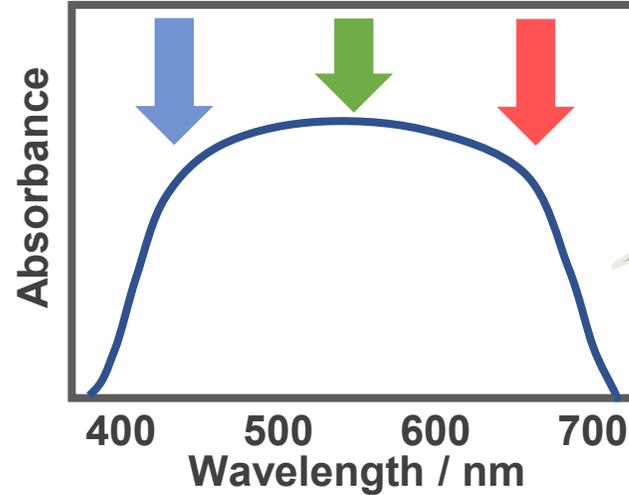
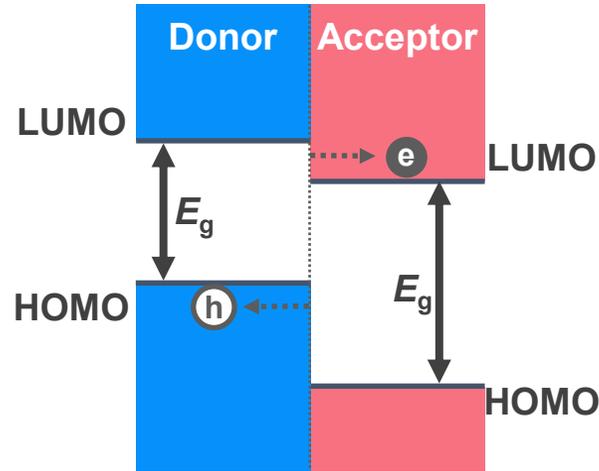


栄養価の高い農作物



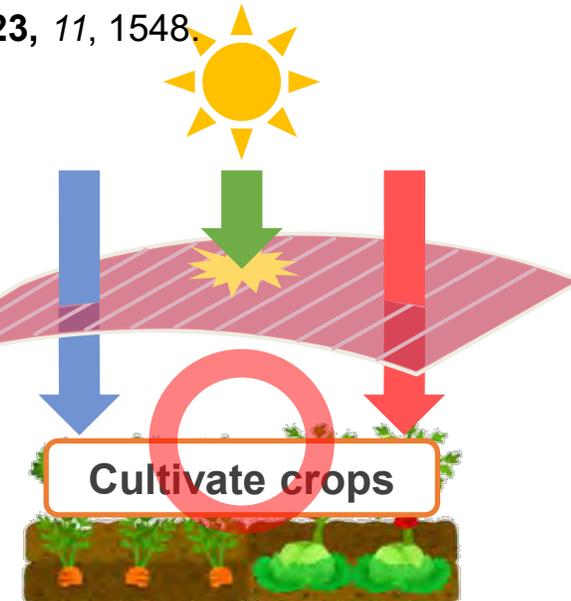
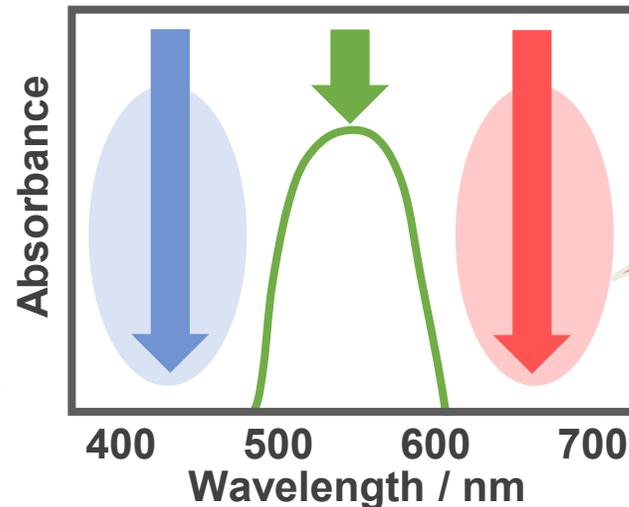
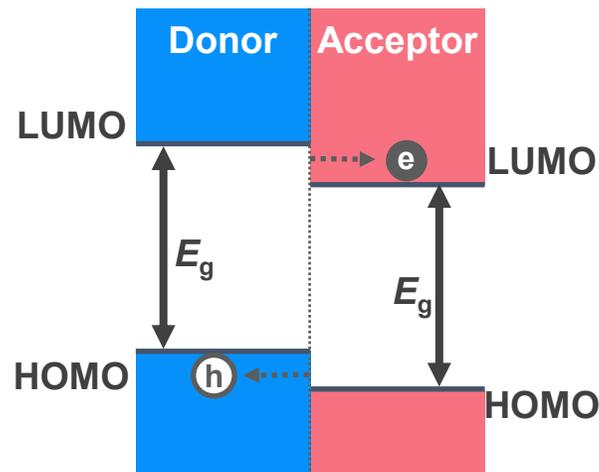
【材料戦略】 緑色光波長選択性の付与に向けた戦略

高い発電効率の OSC



波長選択型 OSC

ACS Sustainable Chem. Eng. 2023, 11, 1548.



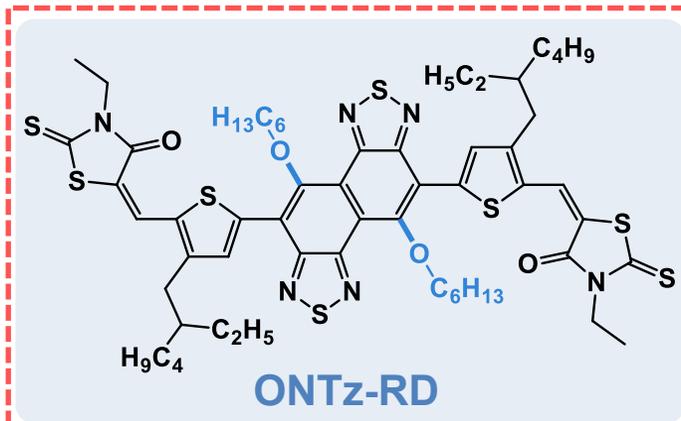
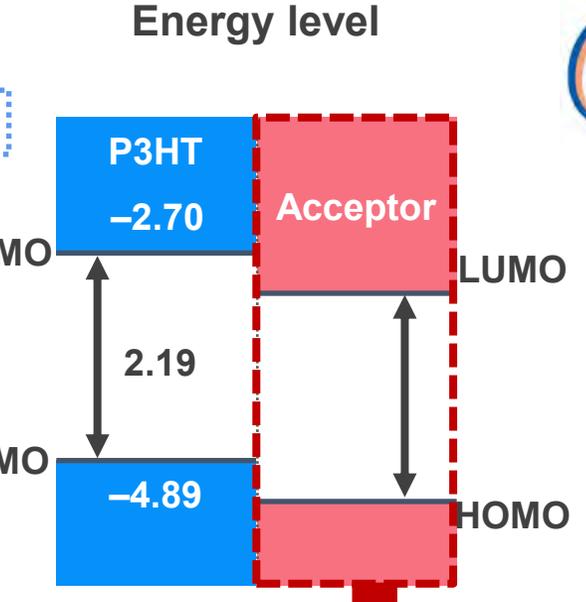
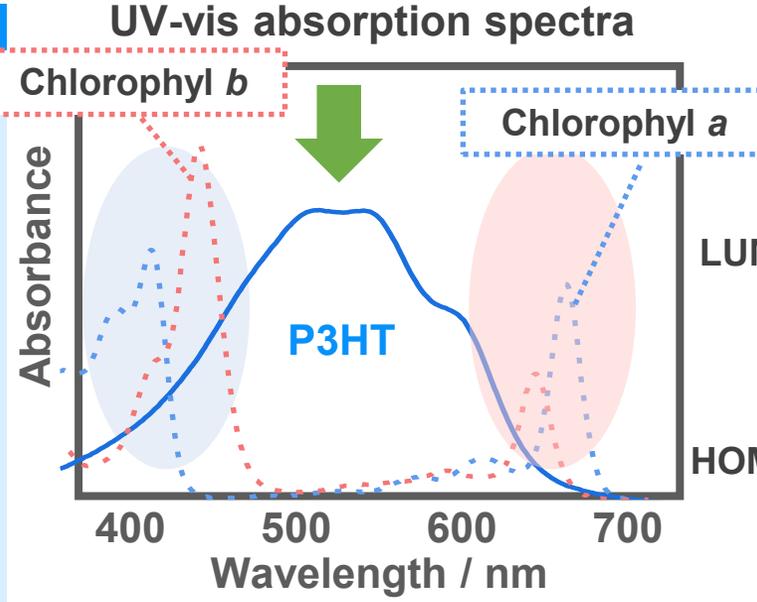
緑色波長選択性付与に向けたP3HTと非フルーレン型アクセプター

Donor

C1=CC=C(C=C1)S

P3HT

安価 (5,000 円/g)
大量入手が容易
高い化学的安定性
緑色光を選択的に吸収

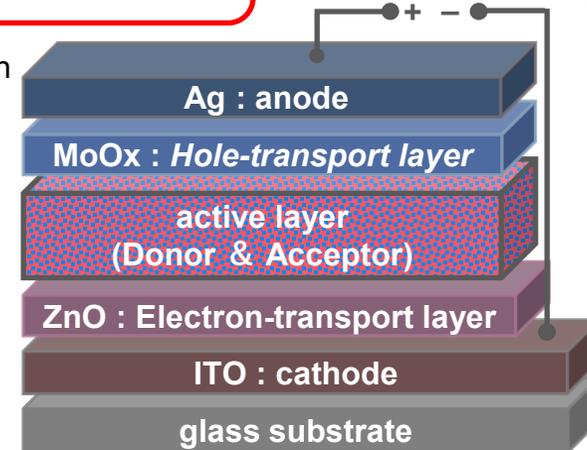
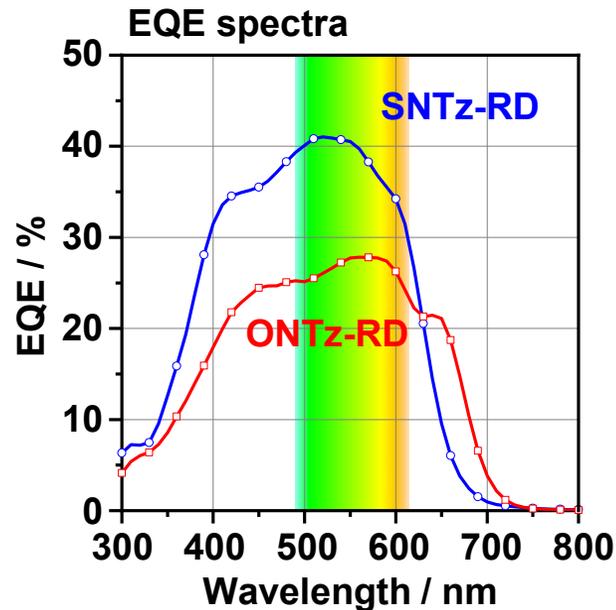
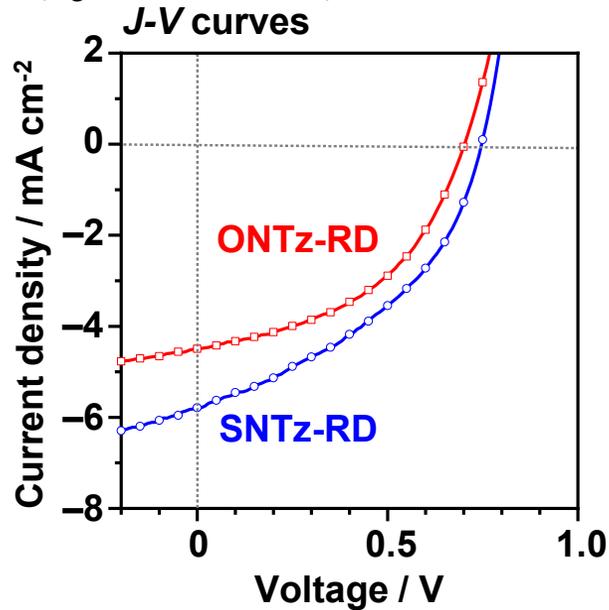


【発電特性】 緑色波長領域の発電効率

PCEs in the green-light region
(PCE-GR)

$$PCE-GR = \left\{ V_{OC} \times FF \times \sum_{\lambda \in G} (nPhoton_{\lambda} \times EQE_{\lambda}) \right\} / P_G \times 100 [\%]$$

EQE_i and nPhoton_i are the EQEs of the OSCs and the photon flux of AM1.5G at wavelength
P_G is the irradiated energy in the 500–600 nm wavelength range of AM1.5G
(P_G = 15.1 mW cm⁻²)



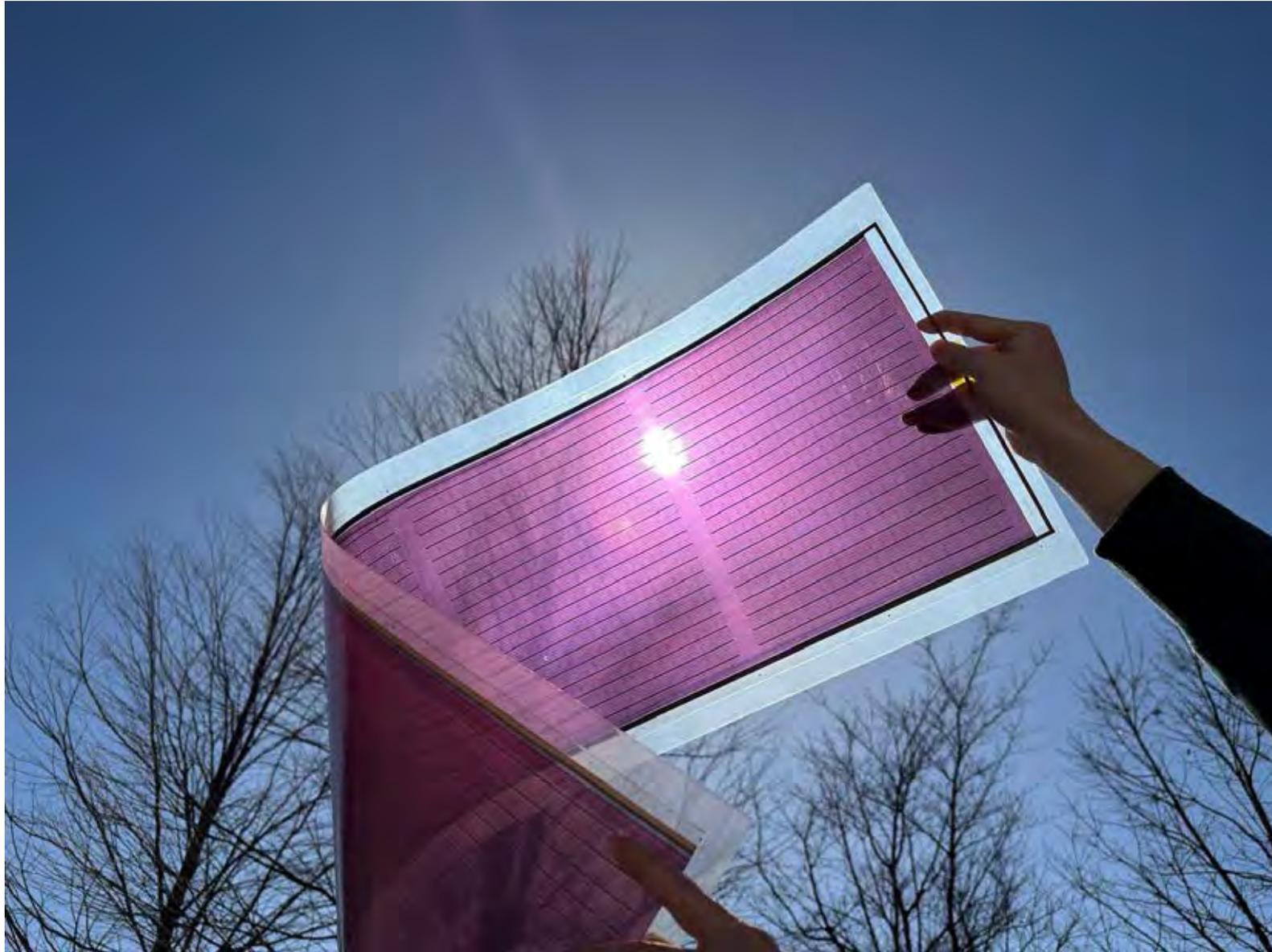
Fabrication Condition

donor : acceptor = 1 : 1
10 mg/mL CHCl₃ solution
spin-coating (1000 rpm)

Acceptor	J _{sc} / mA·cm ⁻²	V _{oc} / V	FF / %	PCE-GR / %
ONTz-RD	4.49	0.70	46	4.2
SNTz-RD	5.79	0.75	41	5.8

緑色光波長選択型有機太陽電池のモジュール化

メートルスケールのOSCを作製

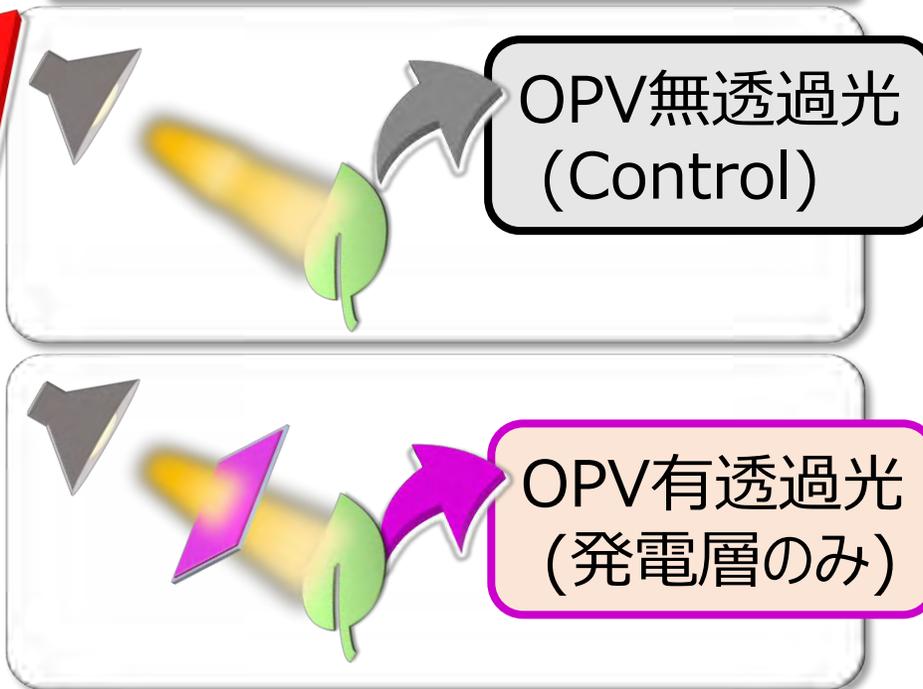


農業用途の太陽電池評価法（光合成測定条件）



図：光合成測定風景

照射光の条件のみ変えて測定



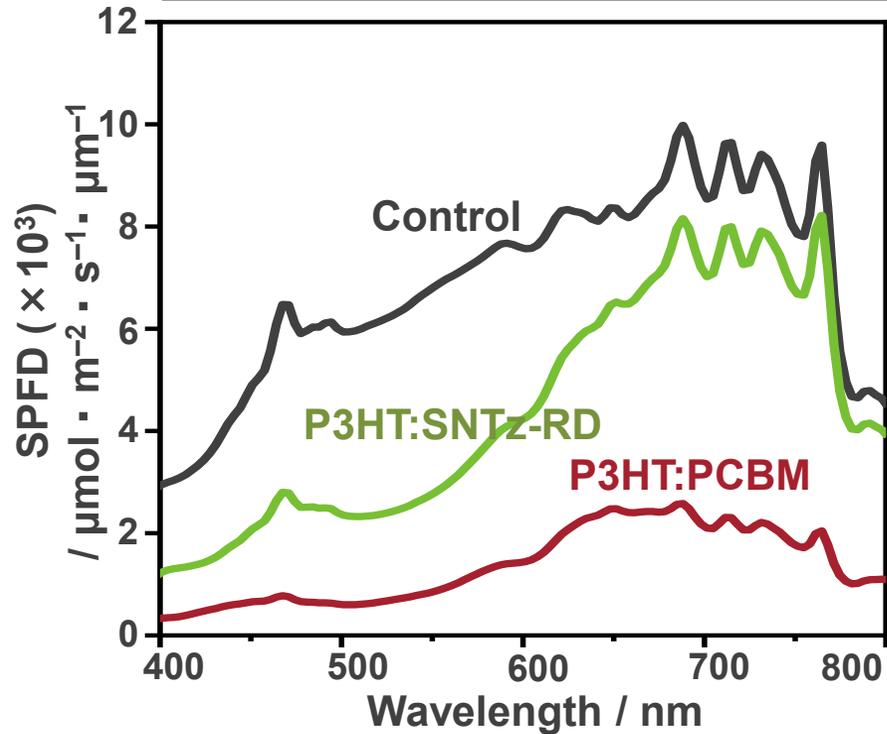
表：光合成測定条件

光合成測定条件	
品種	イチゴ（ふさの香）
Area	2×3 cm ²
Temperature	25 ℃
H ₂ O	50 %
CO ₂	400 ppm

- ❑ 照射面積 Area(cm²),
 - ❑ Temperature(℃),
 - ❑ 湿度 H₂O(%),
 - ❑ CO₂濃度(ppm),
- は一定に保ち、各種透過光の光強度に対する光合成速度を測定

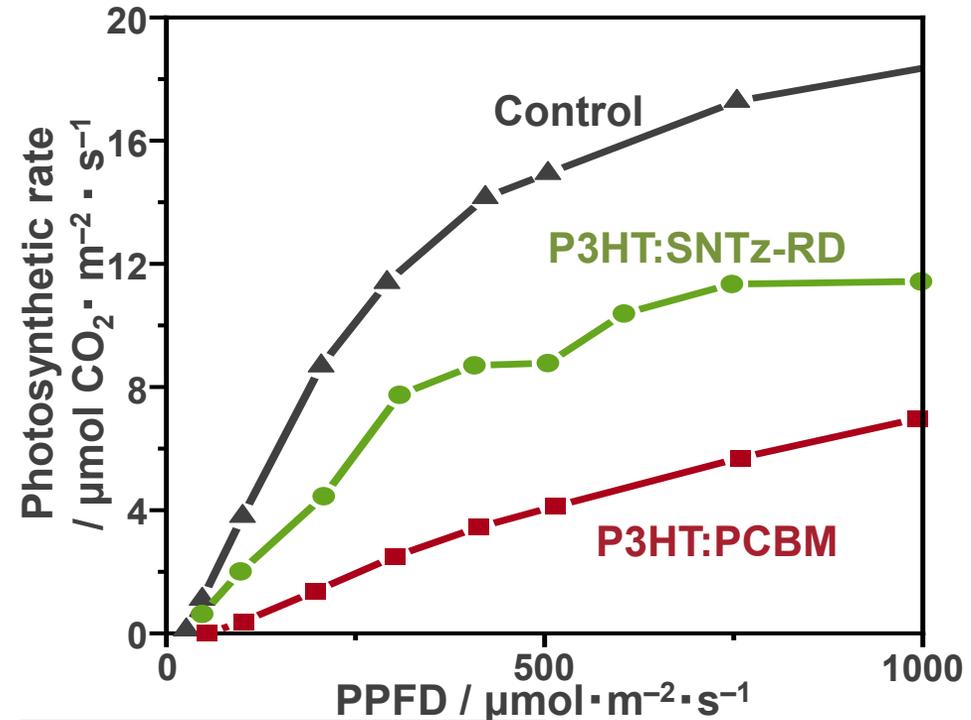
光合成測定結果

Transmittance Spectra of Films



SPFD : Spectra Photon Flux Density
PPFD : Photosynthetic Photon Flux Density

Photosynthetic of Films



Film of P3HT:SNTz-RD



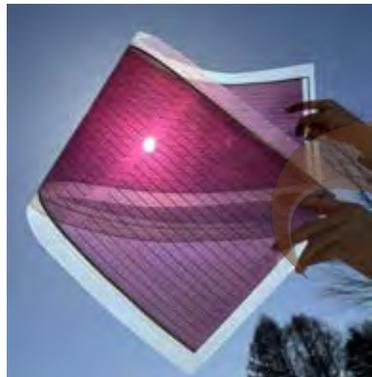
栽培実証試験@屋外

✓ 波長選択型OPVモジュールを用いたガラス温室でのイチゴ栽培実験を開始

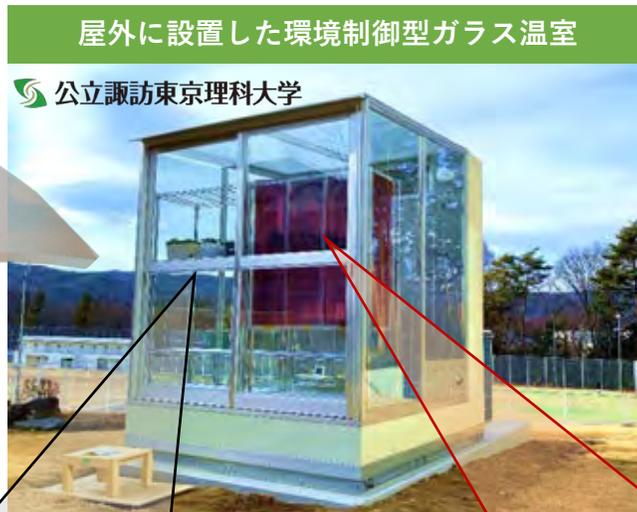


エネルギー生産型

光→電気



波長選択型OPVモジュール (P3HT: FNTz) 30cm × 100cm



参考 (イチゴ栽培用LED)



<https://company.jikyu-lab.com/1135/>

波長選択型OPVモジュールの透過光と類似したLED光を照射

電気→光

エネルギー消費型

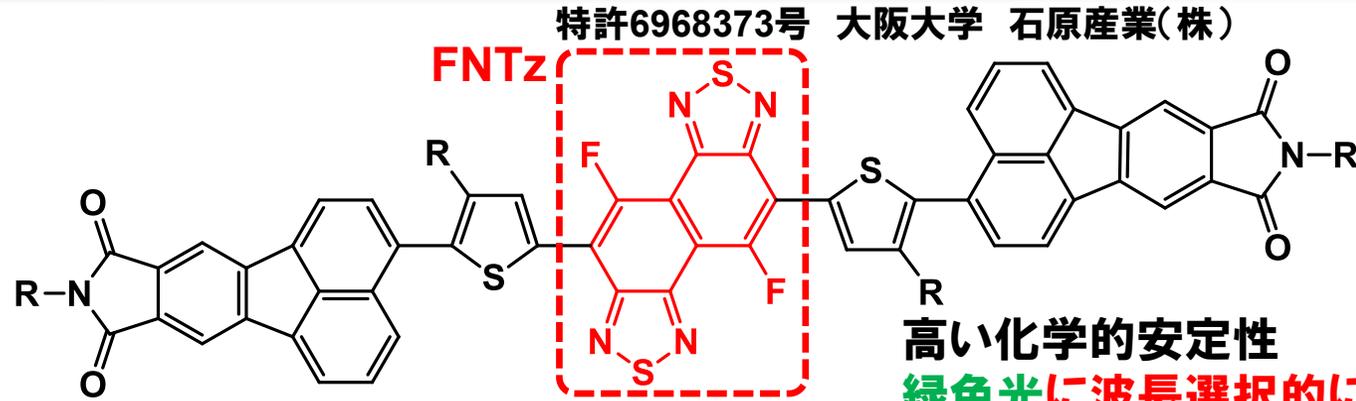


波長選択型OPVなしの場合



波長選択型OPVありの場合

緑色光波長選択的なアクセプターの開発状況



高い化学的安定性
緑色光に波長選択的に吸収
9.3%のPCE-GR

特許7029721号 大阪大学 石原産業(株)
NPG Asia Mater. 2018, 10, 1016.

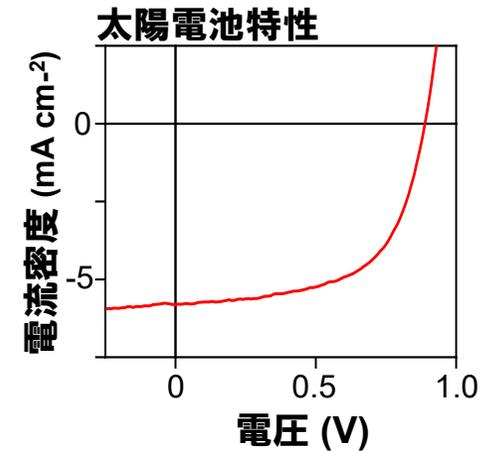
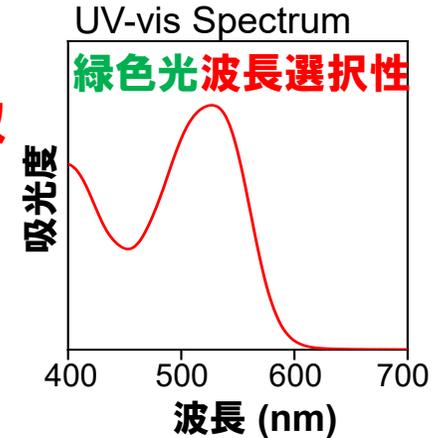
モジュール化検討



100 cm²

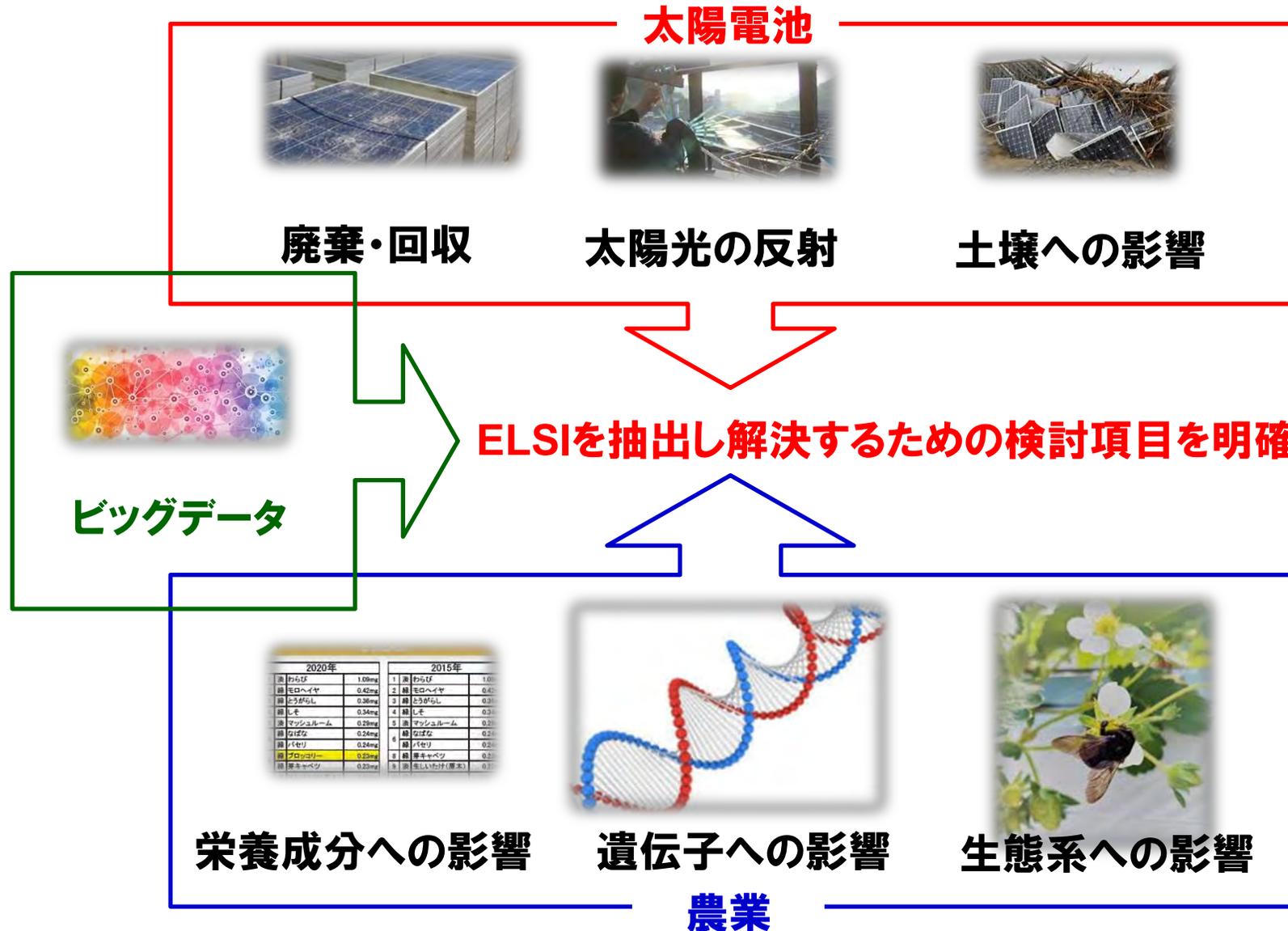


400 cm²



波長選択型OSCの倫理的・社会的・法的課題 (ELSI)

農業用途の有機太陽電池の社会実装に向けて、技術的課題のみならず、ELSIも考慮



農業用ハウ스에搭载する波長選択型OSCが目指す未来社会への道筋



環境に優しいエネルギー
農地を活用して発電
(国土面積の12%が農用地)



新たな開墾は不要

➤ **低環境負荷の太陽電池**

自然災害に強いエネルギー
迅速に電源復旧



令和元年房総半島台風



災害による破損を
ジッパー部にとどめる



土地の有効利用
へき地でも発電と農業



➤ **食料の自給力や競争力の向上**

食料の安定確保
波長選択型OSCで収穫量増加

ジャガイモ **119%**
ほうれん草 **117%**



公立諏訪東京理科大

栄養価の高い農作物生育
栄養成分向上に向けた品種改良



➤ **農業を基盤とする新産業創出**

スマート農業の実現
農業のSociety 5.0と雇用創出



公立諏訪東京理科大

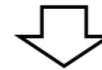
都市農業の実現
新しい農業の提案



大阪公立大

農業用ハウスイで発電
売電で収益増

農地の10%に導入



国内電力量の3割を供給可能

✓ 有機半導体材料開発

新規材料、および、スケールアップを担当いただける企業との共同開発を希望

(波長選択性のレパートリー拡充、スケールアップに適した材料 等)

✓ 有機太陽電池モジュール開発

農業用ハウスへの使用に適した部材、

あるいは、メートルサイズのモジュール作製技術をお持ちの企業との共同開発を希望

✓ 農業の実証実験

波長選択型有機太陽電池の農業評価を共同で実施・評価いただける企業との共同開発を希望

(農作物のレパートリー拡充、波長選択性の効果の検証 等)

大阪大学

「営農型太陽光発電のための緑色光波長選択型有機太陽電池」

カーボンニュートラル・環境 小間番号:C-08

大阪大学産業科学研究所産業科学ナノテクノロジーセンター
ソフトナノマテリアル研究分野
助教 陣内青萌

公立諏訪東京理科大学

「栽培に必要な光を透過する太陽電池を用いた農業ハウス」

カーボンニュートラル・環境 小間番号:C-11

公立諏訪東京理科大学工学部機械電気工学科
教授 渡邊康之

大阪大学 産業科学研究所

戦略室(担当:加藤)

TEL 06-6879 - 8448

e-mail air-office@sanken.osaka-u.ac.jp