

2023年5月12日@新技術説明会

新技術説明会

New Technology Presentation Meetings!



未来社会
創造事業

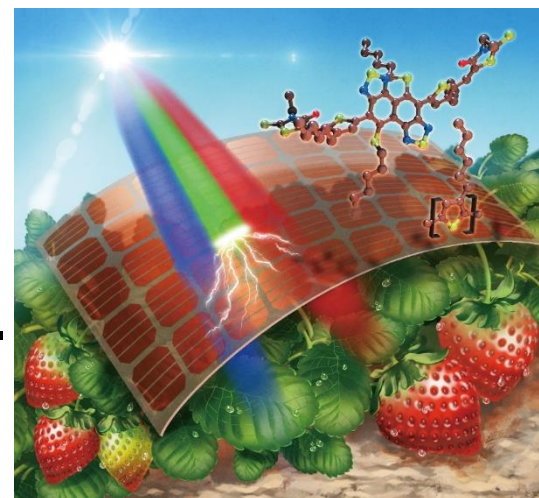
農業用ハウスに向けた 波長選択型有機太陽電池の開発

大阪大学 産業科学研究所

家 裕隆

共同研究機関

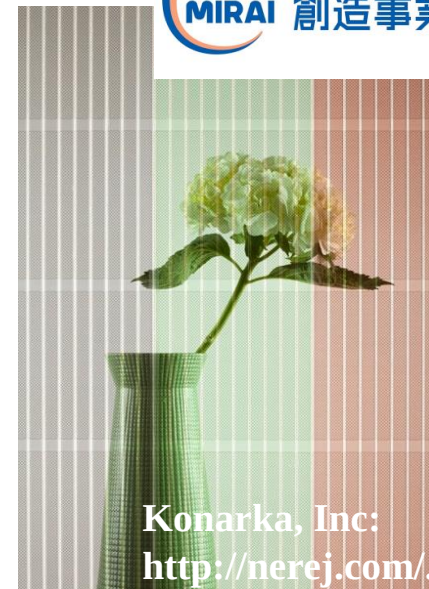
- ・大阪大学大学院・工学研究科、
- ・公立諏訪東京理科大学・工学部、
- ・大阪大学・社会技術共創研究センター
- ・大阪公立大学・農学研究科



有機太陽電池 (Organic Solar Cell : OSC)

新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!

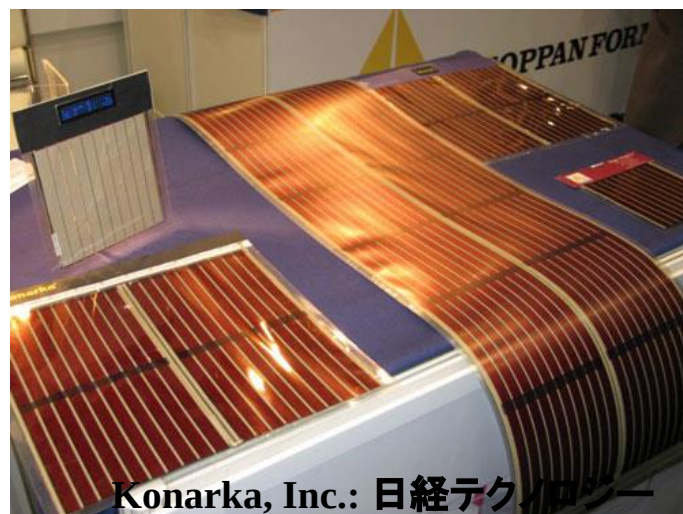
JST
MIRAI 未来社会
創造事業



軽量

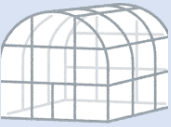
フレキシブル

デザイン性・意匠性



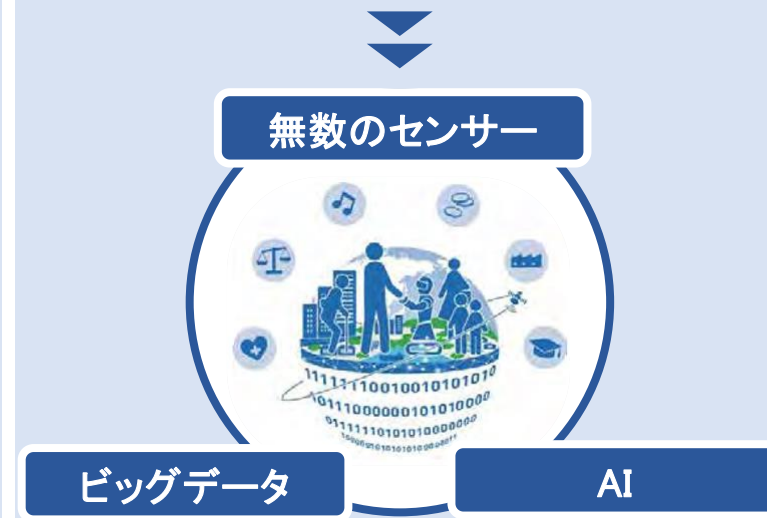
軽量、フレキシブル、塗布法、波長選択性、高い意匠性、高い安全性

創エネルギー領域へ展開

農地		国内農地面積	… 約 45,000 km ²
車		国内販売台数	… 約 5,000,000 台/年 (~50 km ² /年)
住宅ビル		住宅着工戸数	… 約 1,000,000 戸/年
		全建築物床面積	… 約 130 km ² /年

環境調和エネルギー源の開花・温室効果ガス大規模削減

エネルギー・ハーベスティングへ展開



超スマート社会 (Society 5.0) の実現

7 エネルギーをみんなに、そしてクリーンに

13 気候変動に具体的な対策を

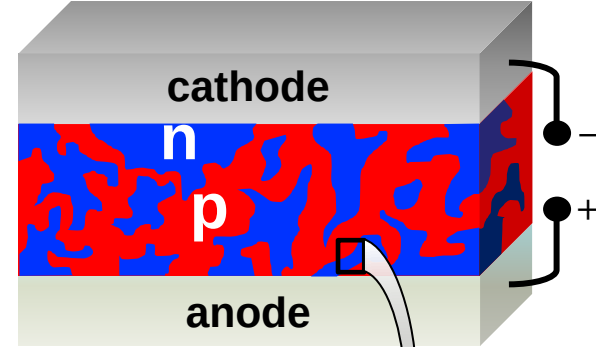
7 エネルギーをみんなに、そしてクリーンに

9 産業と技術革新の基礎をつくろう

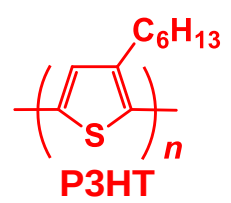
SUSTAINABLE
DEVELOPMENT GOALS

世界を変えるための17の目標

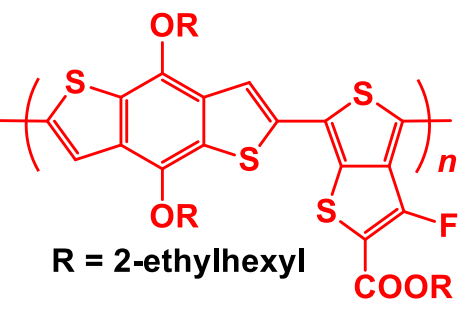
バルクヘテロジャンクション構造



ドナー(p型半導体材料)



狭バンドギャップポリマー
(ドナー-アクセプター型ポリマー)



PTB7

Sun Light
 $h\nu$

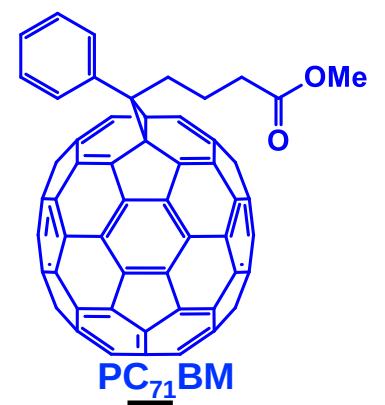
e^-
LUMO

h^+
HOMO

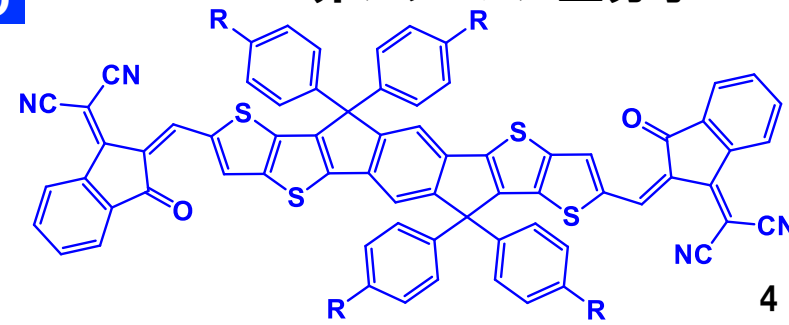
e^-
LUMO

HOMO

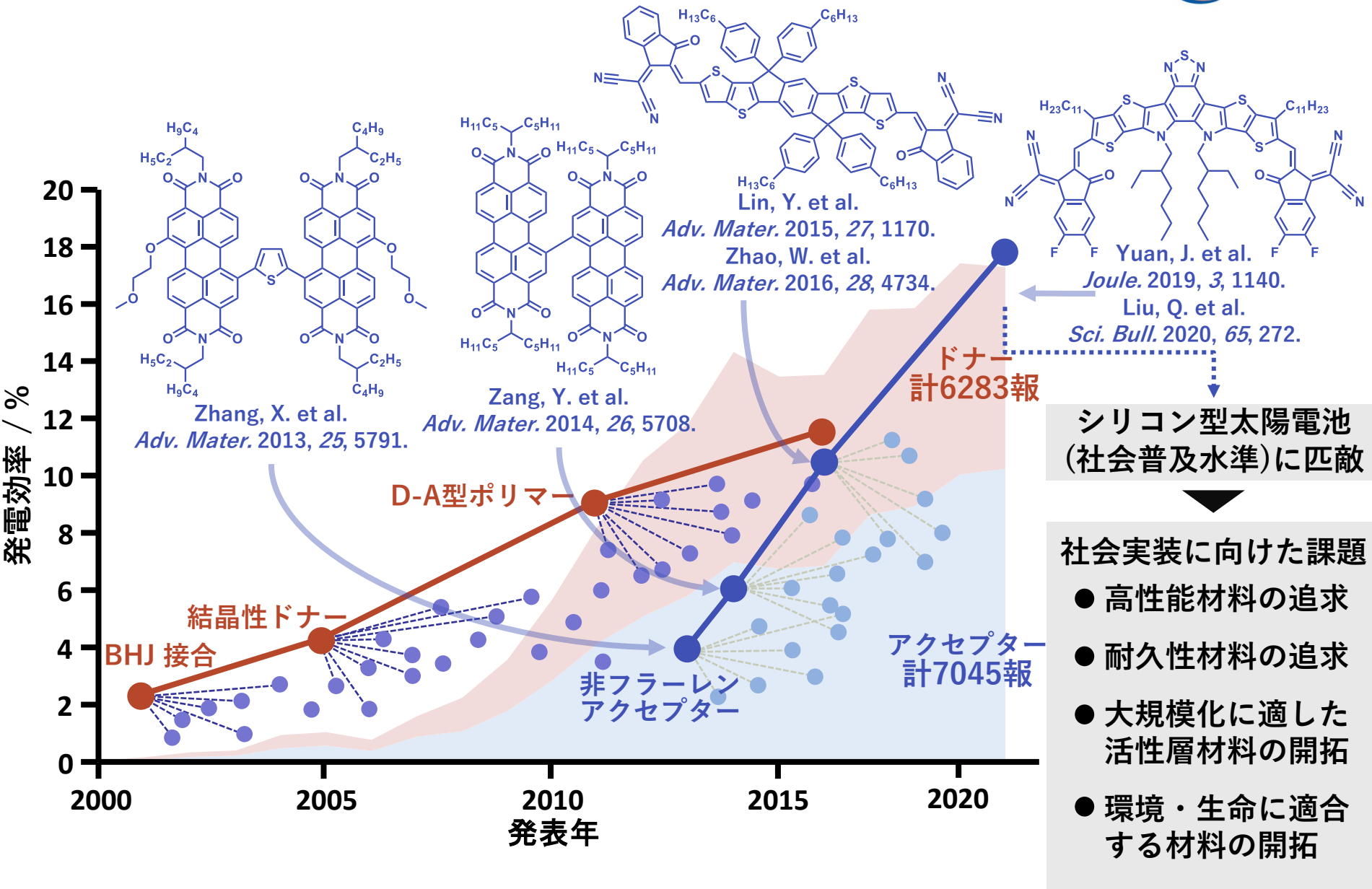
アクセプター(n型半導体材料)



非フラーレン型分子



有機太陽電池の活性層材料と発電効率の変遷



Journal of Materials Chemistry A



REVIEW

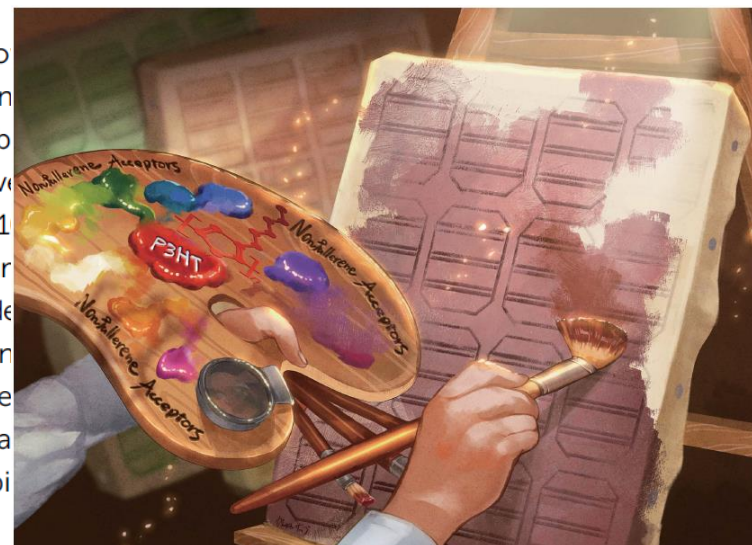


Cite this: *J. Mater. Chem. A*, 2021, 9, 18857

Nonfullerene acceptors for P3HT-based organic solar cells

Shreyam Chatterjee, ^{*a} Seihou Jinnai^a and Yutaka Ie ^{*ab}

Progressive advancement of remarkably high performance organic solar cells (OSCs) largely depends on the development of nonfullerene acceptors (NFAs). P3HT and newly designed NFAs reached over 10% efficiency, positioning them as promising donors in cost-effective OSCs. In this review, we summarize the design for various NFAs over the last decade and highlight important NFAs with new diversity in their building blocks. We also summarize nonhalogenated green solvents and their introductions are also provided regarding the latest progress with a comprehensive view for further development and commercialization.



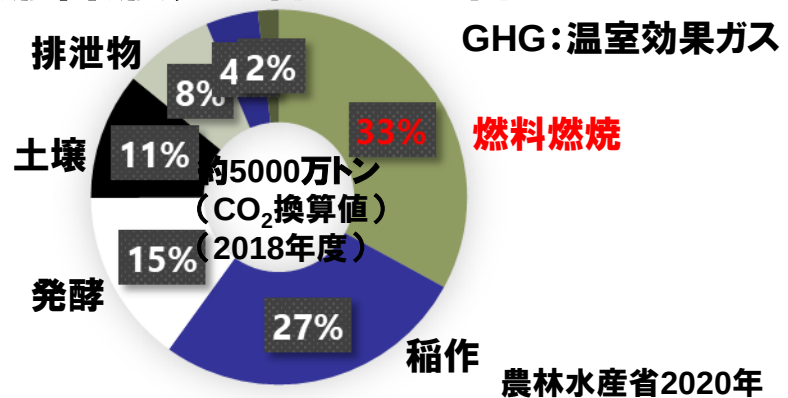
Received 17th April 2021
Accepted 4th June 2021

DOI: 10.1039/d1ta03219d

rsc.li/materials-a

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



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

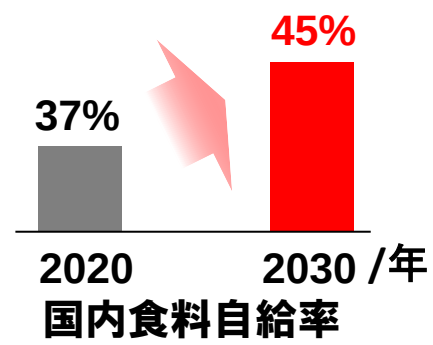


- ✓ 農業用ハウスで使用する化石燃料の大幅削減
- ✓ 農作物の収穫量の増加

社会課題の解決に貢献できる革新的技術が不可欠

食料

国内の食料自給率は**37%**
先進国で最低レベル



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



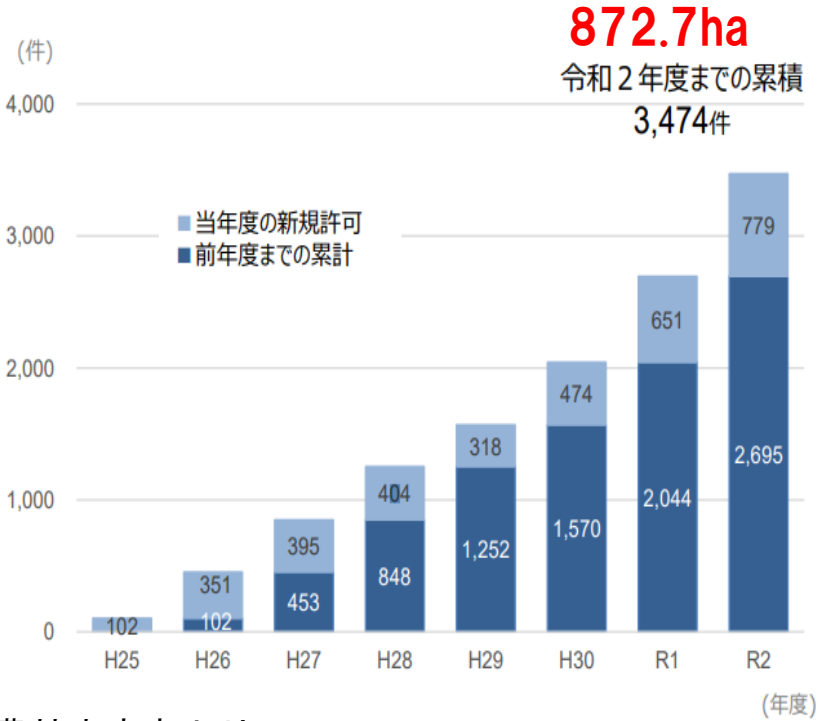
従来技術とその問題点：ソーラーシェアリング

農地の上に背の高い架台と太陽光パネルを設置して行う太陽光発電
(営農型太陽光発電)

国内農地: 約430万ha (令和4年) の1%に
シリコン太陽電池(300 W, 1.5 m²)を導入(日照6時間)
→5160 億kWh

参考: 国内の発電電力量: 8635 億kWh (2021年)

営農型太陽光発電設備を設置するための
農地転用許可件数



農林水産省より



農林水産省より

- ・太陽光パネルの下で従来の収穫量が得られない
- ・遮光率が高くても生育する特定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
- ・太陽光パネルが重いため、設置の架台が不可欠

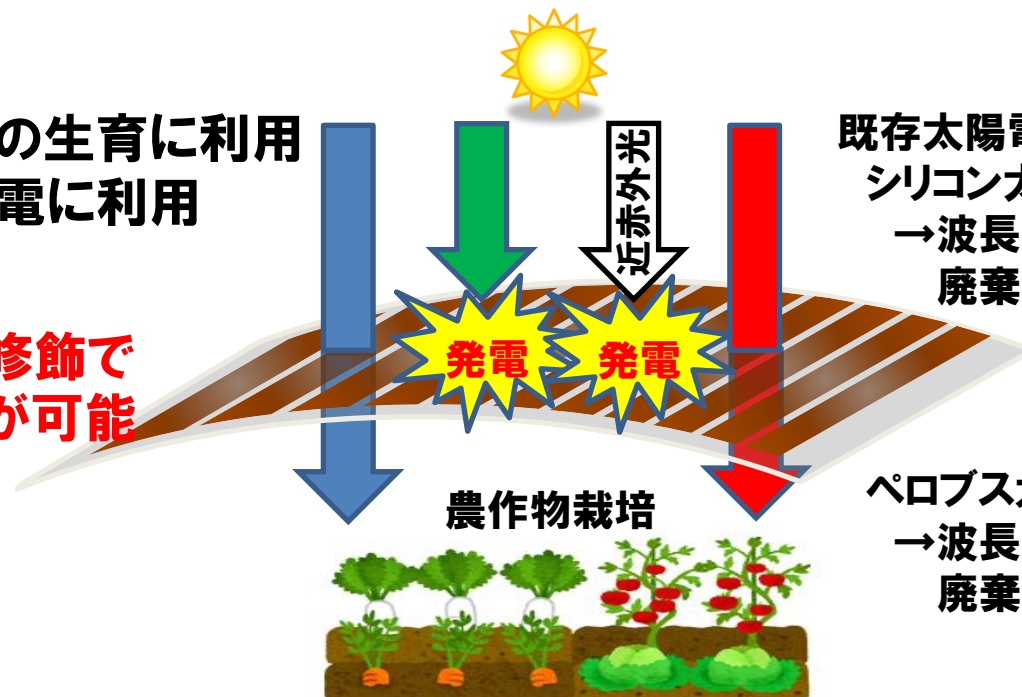
→大規模農地向け

- ✓ 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



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/m^2 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

波長選択型有機太陽電池が目指す未来社会の姿

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



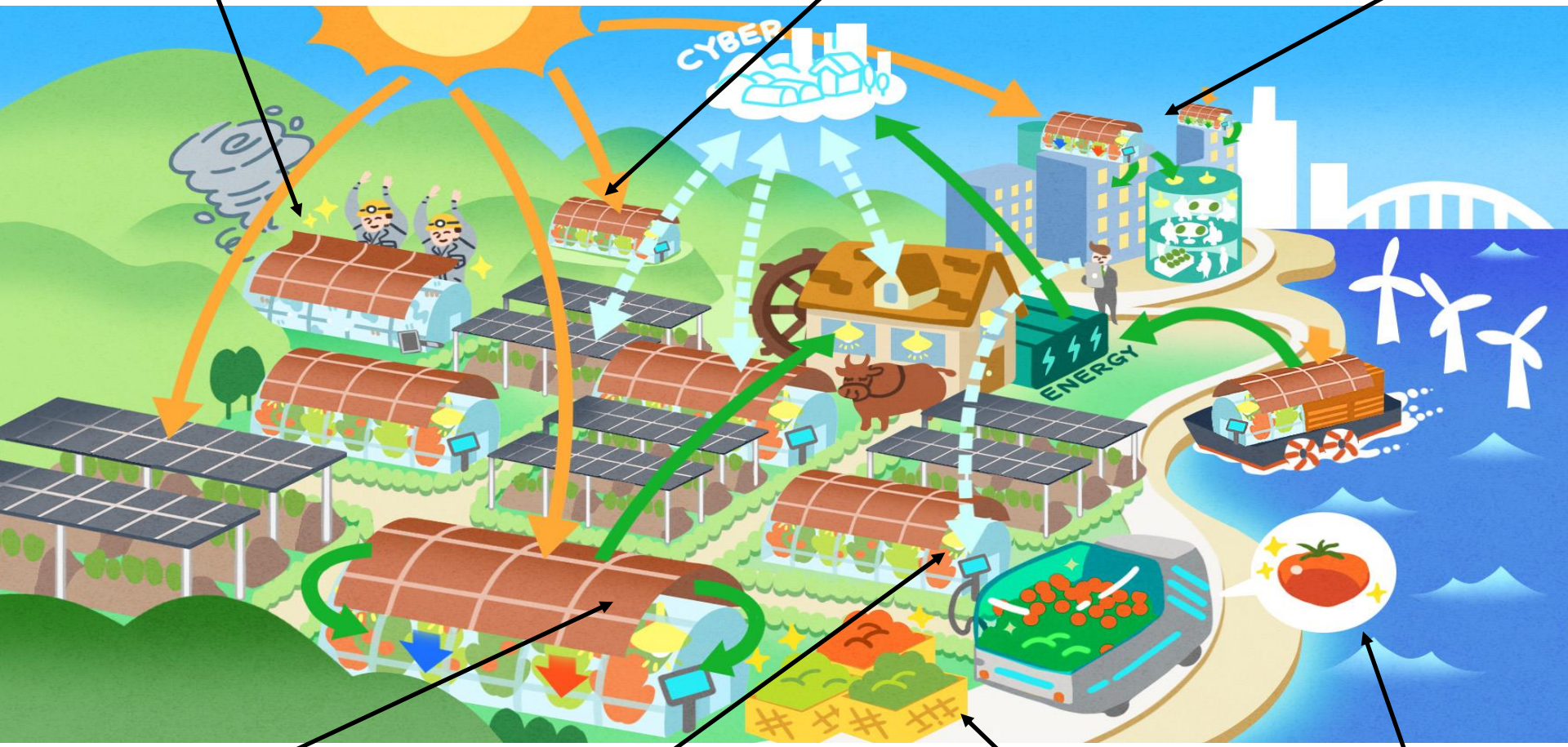
自然災害に強いエネルギー



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



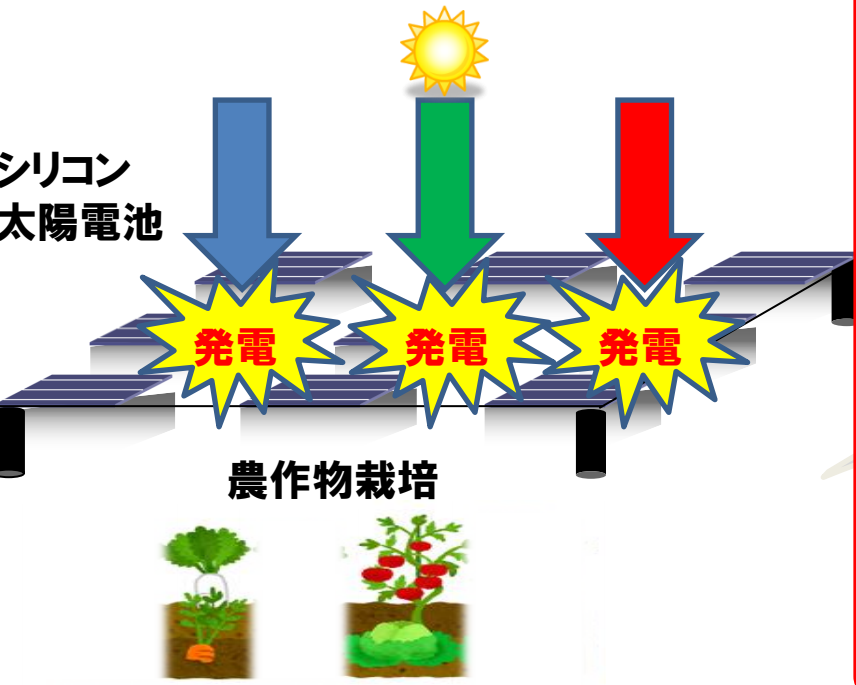
食料の安定確保



栄養価の高い農作物

従来技術との比較

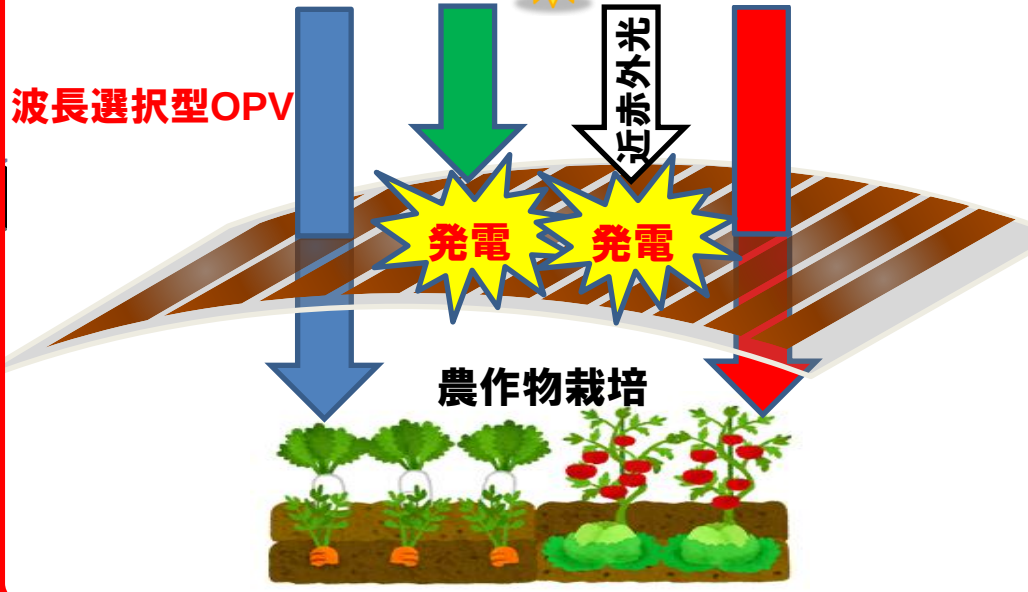
従来技術：ソーラーシェアリング



独自の技術

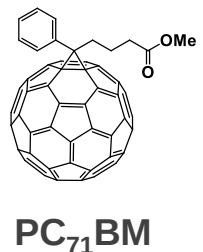
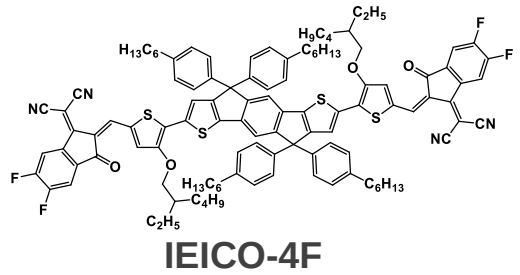
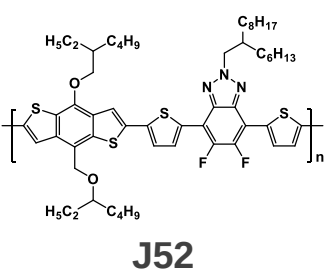
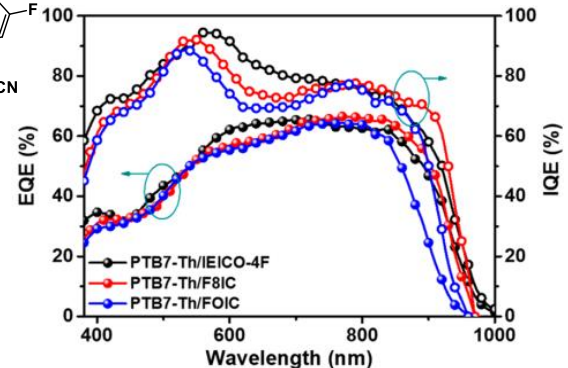
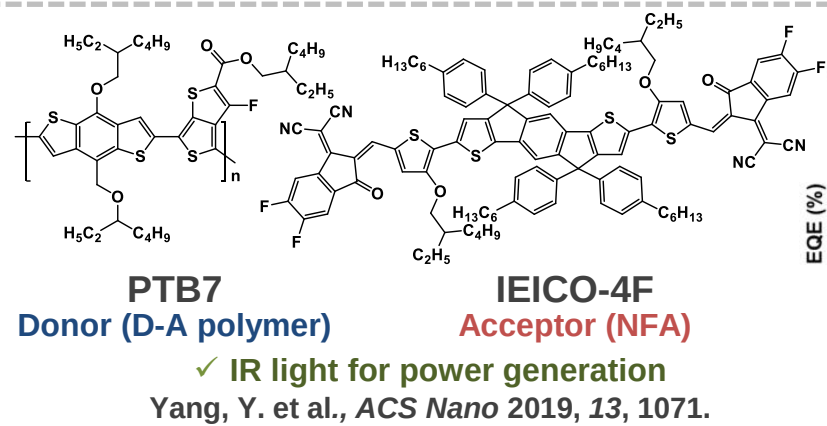
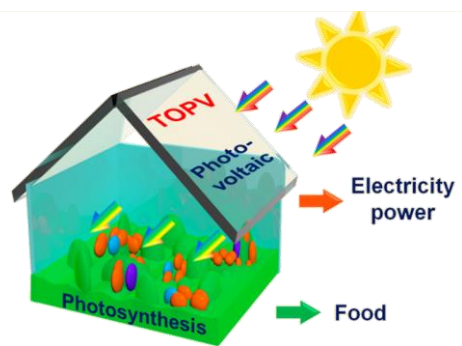
ソーラーマッチング

青、赤色光：農作物の生育
緑色、近赤外光：発電

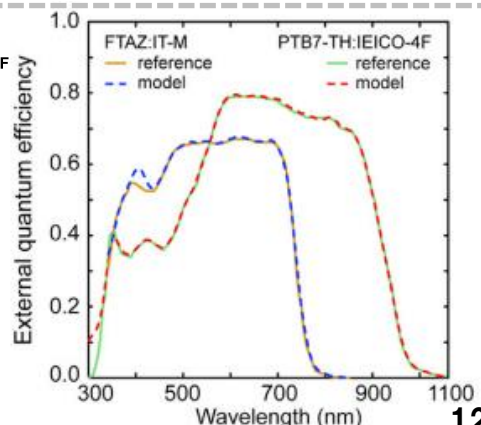
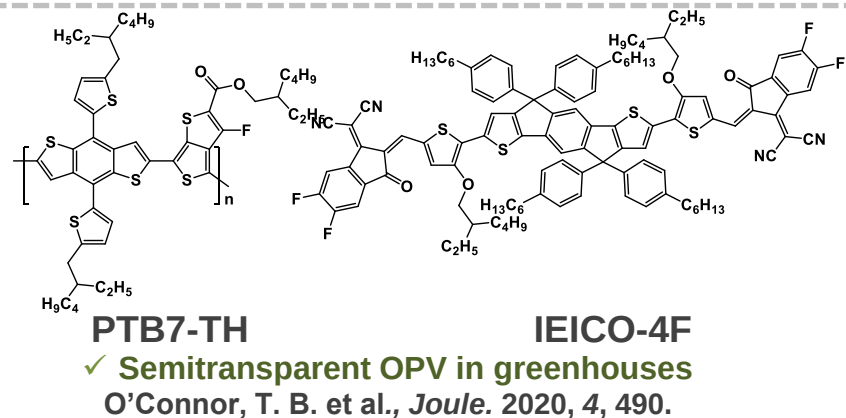
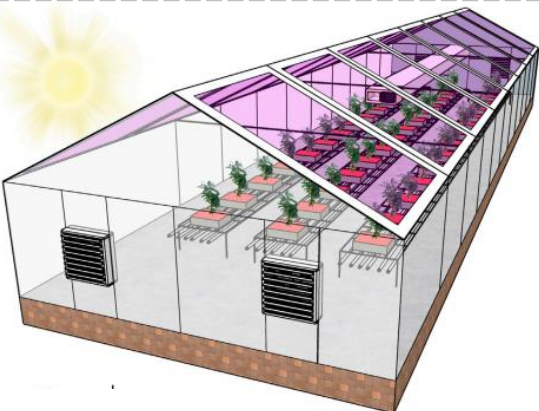
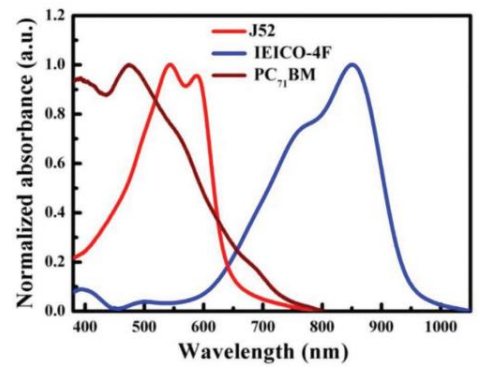


	ソーラーシェアリングの課題	ソーラーマッチングの優位性
土地	・大規模農地向けの設計思想 ・都市での導入に不適	・農業用ハウスに設置可能 ・農村と都市のいずれも適用可能
エネルギー	・売電が中心	・農業用ハウスで地産地消(売電も可能)
農業	・農地面積が減少、収穫量が減少	・農地面積を確保 ・都市での導入で農作物の地産地消が可能 ・波長選択光で単収はむしろ増加 ・波長を活かした農作物の品種改良が可能

農業用ハウスに向けた有機太陽電池



✓ Wavelength selective ternary OPV
Cao, Y. et al., *Adv. Energy Mater.* 2019, 9, 1803438.



透過型OSCフィルムが農作物成長に与える影響



光量 & 光質のコントロールで
収穫量向上 & 栄養成分制御

収穫量の比較

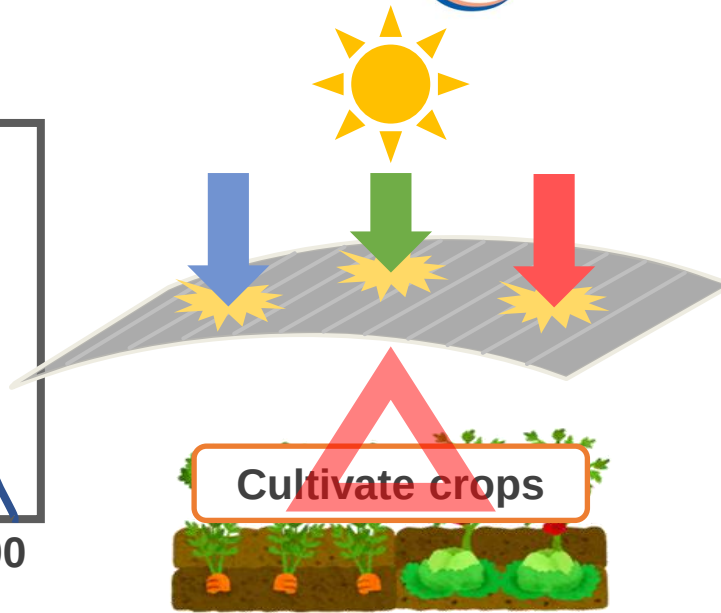
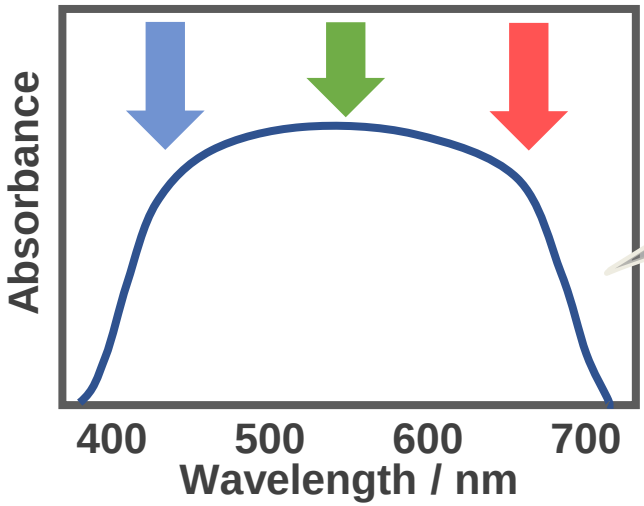
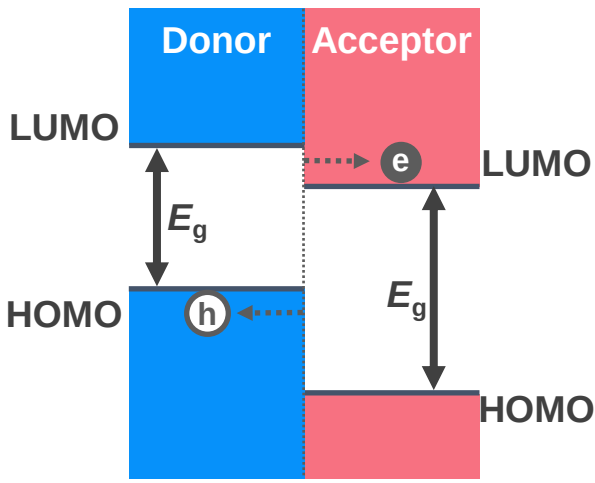
	OSCあり	OSCなし	OSCあり/なし	
ジャガイモ	5460 g	4570 g	119%	UP!
ほうれん草	749 g	642 g	117%	UP!
トマト	2386 g	2595 g	92%	

ほうれん草の栄養分析評価

	OSCあり	OSCなし
糖度/%	3.5	3.5
βカロテン/μg/100g	1600	1100
ビタミンA ₁ /μg/100g	140	91
ビタミンC/μg/100g	5000	7000

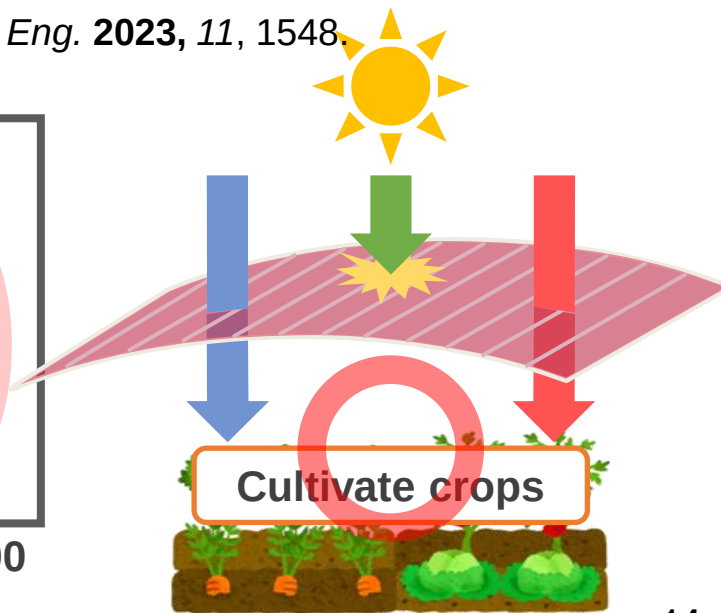
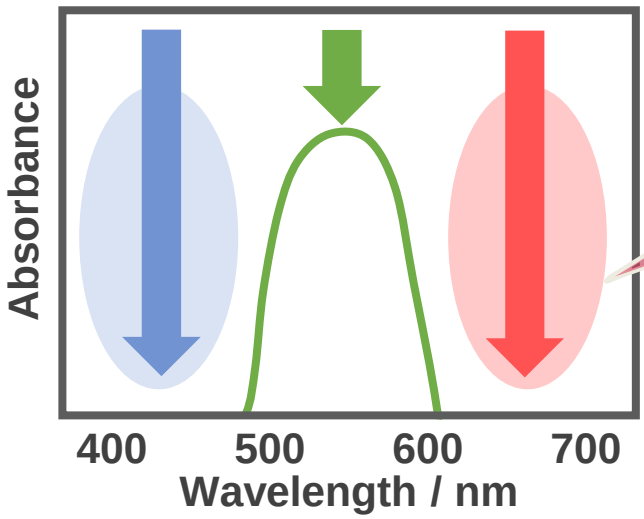
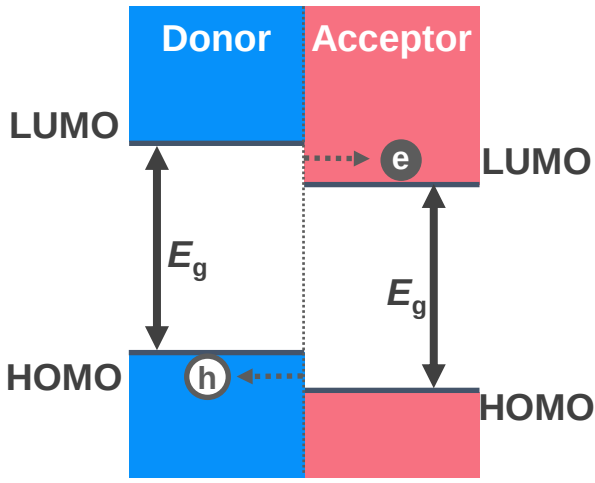
緑色光波長選択性の付与に向けた戦略

高い発電効率の OSC



波長選択型 OSC

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



農業用ハウス用途における波長選択型OSCの優位性

シリコン太陽電池



波長選択性のないOSC



波長選択型OSC



- 課題

 - ・建築物として取り扱い
 - ・架台の設置が必要
 - ・廃棄が困難
- 課題

 - ・全体を覆うことができない
 - ・設置が困難

- ✓ 高い安全性
- ✓ 設置や廃棄が容易

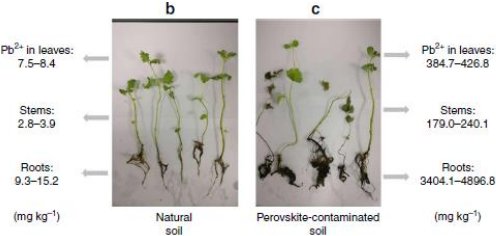


ペロブスカイト太陽電池

- 課題
- ・全体を覆うことができない
 - ・廃棄が困難
 - ・災害等の際、農業用の土地に有毒物質が散乱

ペロブスカイト太陽電池には0.8g/m²の鉛を使用
→農地に漏れた場合、土壌の鉛濃度は4.0 mg/Kg
農作物に取り込まれるPbの危険性大(右図)
(Abte A. et al. Nat. Commun. 2020, 11, 310)

大阪大学で見出した独自構造の
緑色光波長選択的材料で実現可能



新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!



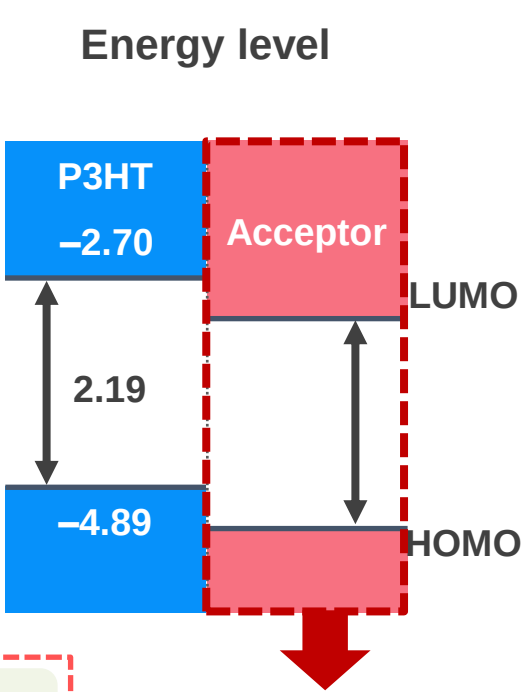
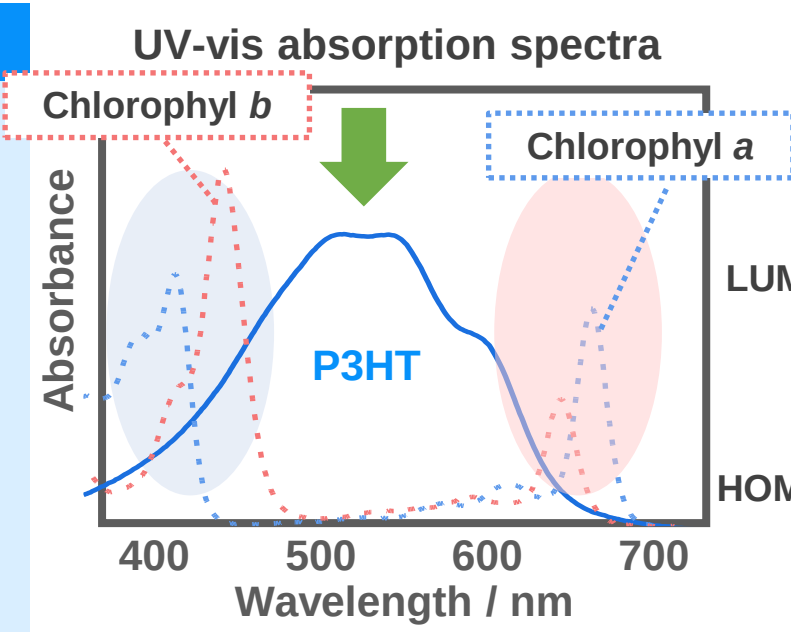
緑色波長選択性付与に向けたP3HTと非フラーレン型アクセプター

Donor

c1cc(C6H13)sc1

P3HT

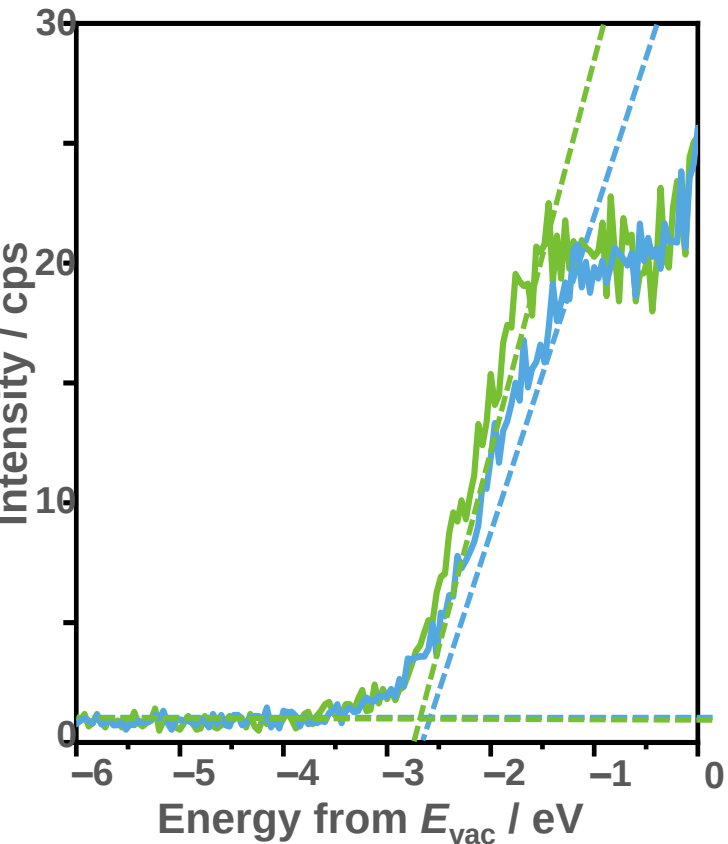
安価 (5,000 円/g)
大量入手が容易
高い化学的安定性
緑色光を選択的に吸収



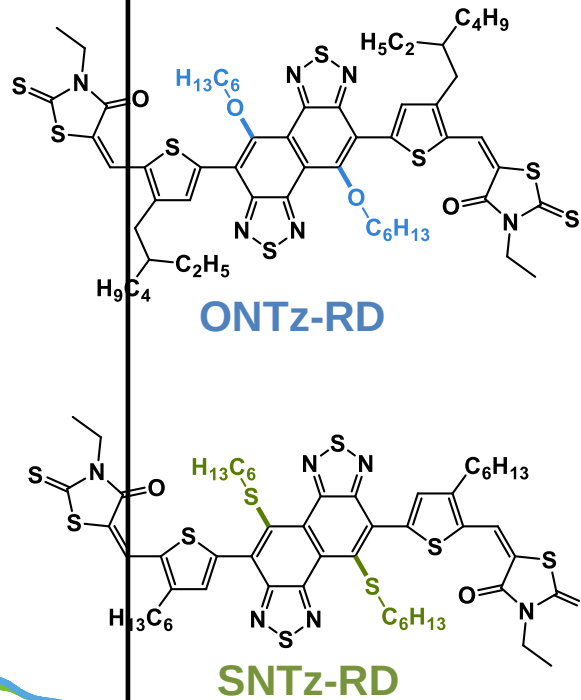
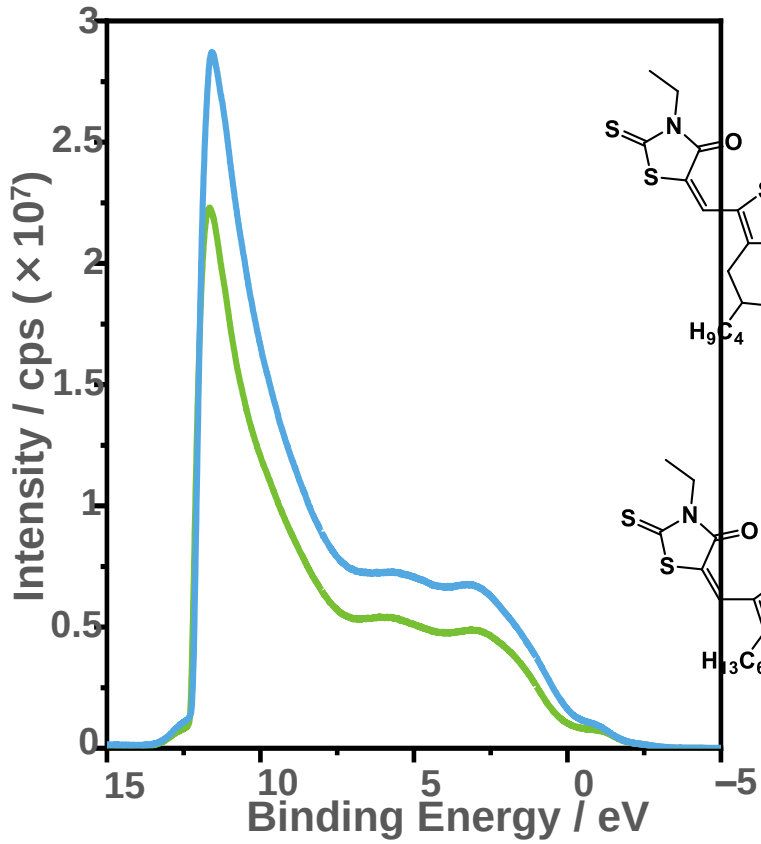
New acceptors

CCN(CC)C(=O)SC(=S)C1=CC=C(C=C1)C2=CC=C(C=C2)SC3=NC4=C(C(=N3)SC5=CC=C(C=C5)OC6C=CC(=CC6)OC7C=CC(=CC7)SC8=NC9=C(C(=N8)SC10=CC=C(C=C10)OC11C=CC(=CC11)OC12C=CC(=CC12)SC13=NC14=C(C(=N13)SC15=CC=C(C=C15)OC16C=CC(=CC16)OC17C=CC(=CC17)SC18=NC19=C(C(=N18)SC20=CC=C(C=C20)OC21C=CC(=CC21)SC22=NC23=C(C(=N22)SC24=CC=C(C=C24)OC25C=CC(=CC25)SC26=NC27=C(C(=N26)SC28=CC=C(C=C28)OC29C=CC(=CC29)SC30=NC31=C(C(=N30)SC32=CC=C(C=C32)OC33C=CC(=CC33)SC34=NC35=C(C(=N34)SC36=CC=C(C=C36)OC37C=CC(=CC37)SC38=NC39=C(C(=N38)SC40=CC=C(C=C40)OC41C=CC(=CC41)SC42=NC43=C(C(=N42)SC44=CC=C(C=C44)OC45C=CC(=CC45)SC46=NC47=C(C(=N46)SC48=CC=C(C=C48)OC49C=CC(=CC49)SC50=NC51=C(C(=N50)SC52=CC=C(C=C52)OC53C=CC(=CC53)SC54=NC55=C(C(=N54)SC56=CC=C(C=C56)OC57C=CC(=CC57)SC58=NC59=C(C(=N58)SC60=CC=C(C=C60)OC61C=CC(=CC61)SC62=NC63=C(C(=N62)SC64=CC=C(C=C64)OC65C=CC(=CC65)SC66=NC67=C(C(=N66)SC68=CC=C(C=C68)OC69C=CC(=CC69)SC70=NC71=C(C(=N70)SC72=CC=C(C=C72)OC73C=CC(=CC73)SC74=NC75=C(C(=N74)SC76=CC=C(C=C76)OC77C=CC(=CC77)SC78=NC79=C(C(=N78)SC80=CC=C(C=C80)OC81C=CC(=CC81)SC82=NC83=C(C(=N82)SC84=CC=C(C=C84)OC85C=CC(=CC85)SC86=NC87=C(C(=N86)SC88=CC=C(C=C88)OC89C=CC(=CC89)SC90=NC91=C(C(=N90)SC92=CC=C(C=C92)OC93C=CC(=CC93)SC94=NC95=C(C(=N94)SC96=CC=C(C=C96)OC97C=CC(=CC97)SC98=NC99=C(C(=N98)SC100=CC=C(C=C100)OC101C=CC(=CC101)SC102=NC103=C(C(=N102)SC104=CC=C(C=C104)OC105C=CC(=CC105)SC106=NC107=C(C(=N106)SC108=CC=C(C=C108)OC109C=CC(=CC109)SC110=NC111=C(C(=N110)SC112=CC=C(C=C112)OC113C=CC(=CC113)SC114=NC115=C(C(=N114)SC116=CC=C(C=C116)OC117C=CC(=CC117)SC118=NC119=C(C(=N118)SC120=CC=C(C=C120)OC121C=CC(=CC121)SC122=NC123=C(C(=N122)SC124=CC=C(C=C124)OC125C=CC(=CC125)SC126=NC127=C(C(=N126)SC128=CC=C(C=C128)OC129C=CC(=CC129)SC130=NC131=C(C(=N130)SC132=CC=C(C=C132)OC133C=CC(=CC133)SC134=NC135=C(C(=N134)SC136=CC=C(C=C136)OC137C=CC(=CC137)SC138=NC139=C(C(=N138)SC140=CC=C(C=C140)OC141C=CC(=CC141)SC142=NC143=C(C(=N142)SC144=CC=C(C=C144)OC145C=CC(=CC145)SC146=NC147=C(C(=N146)SC148=CC=C(C=C148)OC149C=CC(=CC149)SC150=NC151=C(C(=N150)SC152=CC=C(C=C152)OC153C=CC(=CC153)SC154=NC155=C(C(=N154)SC156=CC=C(C=C156)OC157C=CC(=CC157)SC158=NC159=C(C(=N158)SC160=CC=C(C=C160)OC161C=CC(=CC161)SC162=NC163=C(C(=N162)SC164=CC=C(C=C164)OC165C=CC(=CC165)SC166=NC167=C(C(=N166)SC168=CC=C(C=C168)OC169C=CC(=CC169)SC170=NC171=C(C(=N170)SC172=CC=C(C=C172)OC173C=CC(=CC173)SC174=NC175=C(C(=N174)SC176=CC=C(C=C176)OC177C=CC(=CC177)SC178=NC179=C(C(=N178)SC180=CC=C(C=C180)OC181C=CC(=CC181)SC182=NC183=C(C(=N182)SC184=CC=C(C=C184)OC185C=CC(=CC185)SC186=NC187=C(C(=N186)SC188=CC=C(C=C188)OC189C=CC(=CC189)SC190=NC191=C(C(=N190)SC192=CC=C(C=C192)OC193C=CC(=CC193)SC194=NC195=C(C(=N194)SC196=CC=C(C=C196)OC197C=CC(=CC197)SC198=NC199=C(C(=N198)SC200=CC=C(C=C200)OC201C=CC(=CC201)SC202=NC203=C(C(=N202)SC204=CC=C(C=C204)OC205C=CC(=CC205)SC206=NC207=C(C(=N206)SC208=CC=C(C=C208)OC209C=CC(=CC209)SC210=NC211=C(C(=N210)SC212=CC=C(C=C212)OC213C=CC(=CC213)SC214=NC215=C(C(=N214)SC216=CC=C(C=C216)OC217C=CC(=CC217)SC218=NC219=C(C(=N218)SC220=CC=C(C=C220)OC221C=CC(=CC221)SC222=NC223=C(C(=N222)SC224=CC=C(C=C224)OC225C=CC(=CC225)SC226=NC227=C(C(=N226)SC228=CC=C(C=C228)OC229C=CC(=CC229)SC230=NC231=C(C(=N230)SC232=CC=C(C=C232)OC233C=CC(=CC233)SC234=NC235=C(C(=N234)SC236=CC=C(C=C236)OC237C=CC(=CC237)SC238=NC239=C(C(=N238)SC240=CC=C(C=C240)OC241C=CC(=CC241)SC242=NC243=C(C(=N242)SC244=CC=C(C=C244)OC245C=CC(=CC245)SC246=NC247=C(C(=N246)SC248=CC=C(C=C248)OC249C=CC(=CC249)SC250=NC251=C(C(=N250)SC252=CC=C(C=C252)OC253C=CC(=CC253)SC254=NC255=C(C(=N254)SC256=CC=C(C=C256)OC257C=CC(=CC257)SC258=NC259=C(C(=N258)SC260=CC=C(C=C260)OC261C=CC(=CC261)SC262=NC263=C(C(=N262)SC264=CC=C(C=C264)OC265C=CC(=CC265)SC266=NC267=C(C(=N266)SC268=CC=C(C=C268)OC269C=CC(=CC269)SC270=NC271=C(C(=N270)SC272=CC=C(C=C272)OC273C=CC(=CC273)SC274=NC275=C(C(=N274)SC276=CC=C(C=C276)OC277C=CC(=CC277)SC278=NC279=C(C(=N278)SC280=CC=C(C=C280)OC281C=CC(=CC281)SC282=NC283=C(C(=N282)SC284=CC=C(C=C284)OC285C=CC(=CC285)SC286=NC287=C(C(=N286)SC288=CC=C(C=C288)OC289C=CC(=CC289)SC290=NC291=C(C(=N290)SC292=CC=C(C=C292)OC293C=CC(=CC293)SC294=NC295=C(C(=N294)SC296=CC=C(C=C296)OC297C=CC(=CC297)SC298=NC299=C(C(=N298)SC300=CC=C(C=C300)OC301C=CC(=CC301)SC302=NC303=C(C(=N302)SC304=CC=C(C=C304)OC305C=CC(=CC305)SC306=NC307=C(C(=N306)SC308=CC=C(C=C308)OC309C=CC(=CC309)SC310=NC311=C(C(=N310)SC312=CC=C(C=C312)OC313C=CC(=CC313)SC314=NC315=C(C(=N314)SC316=CC=C(C=C316)OC317C=CC(=CC317)SC318=NC319=C(C(=N318)SC320=CC=C(C=C320)OC321C=CC(=CC321)SC322=NC323=C(C(=N322)SC324=CC=C(C=C324)OC325C=CC(=CC325)SC326=NC327=C(C(=N326)SC328=CC=C(C=C328)OC329C=CC(=CC329)SC330=NC331=C(C(=N330)SC332=CC=C(C=C332)OC333C=CC(=CC333)SC334=NC335=C(C(=N334)SC336=CC=C(C=C336)OC337C=CC(=CC337)SC338=NC339=C(C(=N338)SC340=CC=C(C=C340)OC341C=CC(=CC341)SC342=NC343=C(C(=N342)SC344=CC=C(C=C344)OC345C=CC(=CC345)SC346=NC347=C(C(=N346)SC348=CC=C(C=C348)OC349C=CC(=CC349)SC350=NC351=C(C(=N350)SC352=CC=C(C=C352)OC353C=CC(=CC353)SC354=NC355=C(C(=N354)SC356=CC=C(C=C356)OC357C=CC(=CC357)SC358=NC359=C(C(=N358)SC360=CC=C(C=C360)OC361C=CC(=CC361)SC362=NC363=C(C(=N362)SC364=CC=C(C=C364)OC365C=CC(=CC365)SC366=NC367=C(C(=N366)SC368=CC=C(C=C368)OC369C=CC(=CC369)SC370=NC371=C(C(=N370)SC372=CC=C(C=C372)OC373C=CC(=CC373)SC374=NC375=C(C(=N374)SC376=CC=C(C=C376)OC377C=CC(=CC377)SC378=NC379=C(C(=N378)SC380=CC=C(C=C380)OC381C=CC(=CC381)SC382=NC383=C(C(=N382)SC384=CC=C(C=C384)OC385C=CC(=CC385)SC386=NC387=C(C(=N386)SC388=CC=C(C=C388)OC389C=CC(=CC389)SC390=NC391=C(C(=N390)SC392=CC=C(C=C392)OC393C=CC(=CC393)SC394=NC395=C(C(=N394)SC396=CC=C(C=C396)OC397C=CC(=CC397)SC398=NC399=C(C(=N398)SC400=CC=C(C=C400)OC401C=CC(=CC401)SC402=NC403=C(C(=N402)SC404=CC=C(C=C404)OC405C=CC(=CC405)SC406=NC407=C(C(=N406)SC408=CC=C(C=C408)OC409C=CC(=CC409)SC410=NC411=C(C(=N410)SC412=CC=C(C=C412)OC413C=CC(=CC413)SC414=NC415=C(C(=N414)SC416=CC=C(C=C416)OC417C=CC(=CC417)SC418=NC419=C(C(=N418)SC420=CC=C(C=C420)OC421C=CC(=CC421)SC422=NC423=C(C(=N422)SC424=CC=C(C=C424)OC425C=CC(=CC425)SC426=NC427=C(C(=N426)SC428=CC=C(C=C428)OC429C=CC(=CC429)SC430=NC431=C(C(=N430)SC432=CC=C(C=C432)OC433C=CC(=CC433)SC434=NC435=C(C(=N434)SC436=CC=C(C=C436)OC437C=CC(=CC437)SC438=NC439=C(C(=N438)SC440=CC=C(C=C440)OC441C=CC(=CC441)SC442=NC443=C(C(=N442)SC444=CC=C(C=C444)OC445C=CC(=CC445)SC446=NC447=C(C(=N446)SC448=CC=C(C=C448)OC449C=CC(=CC449)SC450=NC451=C(C(=N450)SC452=CC=C(C=C452)OC453C=CC(=CC453)SC454=NC455=C(C(=N454)SC456=CC=C(C=C456)OC457C=CC(=CC457)SC458=NC459=C(C(=N458)SC460=CC=C(C=C460)OC461C=CC(=CC461)SC462=NC463=C(C(=N462)SC464=CC=C(C=C464)OC465C=CC(=CC465)SC466=NC467=C(C(=N466)SC468=CC=C(C=C468)OC469C=CC(=CC469)SC470=NC471=C(C(=N470)SC472=CC=C(C=C472)OC473C=CC(=CC473)SC474=NC475=C(C(=N474)SC476=CC=C(C=C476)OC477C=CC(=CC477)SC478=NC479=C(C(=N478)SC480=CC=C(C=C480)OC481C=CC(=CC481)SC482=NC483=C(C(=N482)SC484=CC=C(C=C484)OC485C=CC(=CC485)SC486=NC487=C(C(=N486)SC488=CC=C(C=C488)OC489C=CC(=CC489)SC490=NC491=C(C(=N490)SC492=CC=C(C=C492)OC493C=CC(=CC493)SC494=NC495=C(C(=N494)SC496=CC=C(C=C496)OC497C=CC(=CC497)SC498=NC499=C(C(=N498)SC500=CC=C(C=C500)OC501C=CC(=CC501)SC502=NC503=C(C(=N502)SC504=CC=C(C=C504)OC505C=CC(=CC505)SC506=NC507=C(C(=N506)SC508=CC=C(C=C508)OC509C=CC(=CC509)SC510=NC511=C(C(=N510)SC512=CC=C(C=C512)OC513C=CC(=CC513)SC514=NC515=C(C(=N514)SC516=CC=C(C=C516)OC517C=CC(=CC517)SC518=NC519=C(C(=N518)SC520=CC=C(C=C520)OC521C=CC(=CC521)SC522=NC523=C(C(=N522)SC524=CC=C(C=C524)OC525C=CC(=CC525)SC526=NC527=C(C(=N526)SC528=CC=C(C=C528)OC529C=CC(=CC529)SC530=NC531=C(C(=N530)SC532=CC=C(C=C532)OC533C=CC(=CC533)SC534=NC535=C(C(=N534)SC536=CC=C(C=C536)OC537C=CC(=CC537)SC538=NC539=C(C(=N538)SC540=CC=C(C=C540)OC541C=CC(=CC541)SC542=NC543=C(C(=N542)SC544=CC=C(C=C544)OC545C=CC(=CC545)SC546=NC547=C(C(=N546)SC548=CC=C(C=C548)OC549C=CC(=CC549)SC550=NC551=C(C(=N550)SC552=CC=C(C=C552)OC553C=CC(=CC553)SC554=NC555=C(C(=N554)SC556=CC=C(C=C556)OC557C=CC(=CC557)SC558=NC559=C(C(=N558)SC560=CC=C(C=C560)OC561C=CC(=CC561)SC562=NC563=C(C(=N562)SC564=CC=C(C=C564)OC565C=CC(=CC565)SC566=NC567=C(C(=N566)SC568=CC=C(C=C568)OC569C=CC(=CC569)SC570=NC571=C(C(=N570)SC572=CC=C(C=C572)OC573C=CC(=CC573)SC574=NC575=C(C(=N574)SC576=CC=C(C=C576)OC577C=CC(=CC577)SC578=NC579=C(C(=N578)SC580=CC=C(C=C580)OC581C=CC(=CC581)SC582=NC583=C(C(=N582)SC584=CC=C(C=C584)OC585C=CC(=CC585)SC586=NC587=C(C(=N586)SC588=CC=C(C=C588)OC589C=CC(=CC589)SC590=NC591=C(C(=N590)SC592=CC=C(C=C592)OC593C=CC(=CC593)SC594=NC595=C(C(=N594)SC596=CC=C(C=C596)OC597C=CC(=CC597)SC598=NC599=C(C(=N598)SC600=CC=C(C=C600)OC601C=CC(=CC601)SC602=NC603=C(C(=N602)SC604=CC=C(C=C604)OC605C=CC(=CC605)SC606=NC607=C(C(=N606)SC608=CC=C(C=C608)OC609C=CC(=CC609)SC610=NC611=C(C(=N610)SC612=CC=C(C=C612)OC613C=CC(=CC613)SC614=NC615=C(C(=N614)SC616=CC=C(C=C616)OC617C=CC(=CC617)SC618=NC619=C(C(=N618)SC620=CC=C(C=C620)OC621C=CC(=CC621)SC622=NC623=C(C(=N622)SC624=CC=C(C=C624)OC625C=CC(=CC625)SC626=NC627=C(C(=N626)SC628=CC=C(C=C628)OC629C=CC(=CC629)SC630=NC631=C(C(=N630)SC632=CC=C(C=C632)OC633C=CC(=CC633)SC634=NC635=C(C(=N634)SC636=CC=C(C=C636)OC637C=CC(=CC637)SC638=NC639=C(C(=N638)SC640=CC=C(C=C640)OC641C=CC(=CC641)SC642=NC643=C(C(=N642)SC644=CC=C(C=C644)OC645C=CC(=CC645)SC646=NC647=C(C(=N646)SC648=CC=C(C=C648)OC649C=CC(=CC649)SC650=NC651=C(C(=N650)SC652=CC=C(C=C652)OC653C=CC(=CC653)SC654=NC655=C(C(=N654)SC656=CC=C(C=C656)OC657C=CC(=CC657)SC658=NC659=C(C(=N658)SC660=CC=C(C=C660)OC661C=CC(=CC661)SC662=NC663=C(C(=N662)SC664=CC=C(C=C664)OC665C=CC(=CC665)SC666=NC667=C(C(=N666)SC668=CC=C(C=C668)OC669C=CC(=CC669)SC670=NC671=C(C(=N670)SC672=CC=C(C=C672)OC673C=CC(=CC673)SC674=NC675=C(C(=N674)SC676=CC=C(C=C676)OC677C=CC(=CC677)SC678=NC679=C(C(=N678)SC680=CC=C(C=C680)OC681C=CC(=CC681)SC682=NC683=C(C(=N682)SC684=CC=C(C=C684)OC685C=CC(=CC685)SC686=NC687=C(C(=N686)SC688=CC=C(C=C688)OC689C=CC(=CC689)SC690=NC691=C(C(=N690)SC692=CC=C(C=C692)OC693C=CC(=CC693)SC694=NC695=C(C(=N694)SC696=CC=C(C=C696)OC697C=CC(=CC697)SC698=NC699=C(C(=N698)SC700=CC=C(C=C700)OC701C=CC(=CC701)SC702=NC703=C(C(=N702)SC704=CC=C(C=C704)OC705C=CC(=CC705)SC706=NC707=C(C(=N706)SC708=CC=C(C=C708)OC709C=CC(=CC709)SC710=NC711=C(C(=N710)SC712=CC=C(C=C712)OC713C=CC(=CC713)SC714=NC715=C(C(=N714)SC716=CC=C(C=C716)OC717C=CC(=CC717)SC718=NC719=C(C(=N718)SC720=CC=C(C=C720)OC721C=CC(=CC721)SC722=NC723=C(C(=N722)SC724=CC=C(C=C724)OC725C=CC(=CC725)SC726=NC727=C(C(=N726)SC728=CC=C(C=C728)OC729C=CC(=CC729)SC730=NC731=C(C(=N730)SC732=CC=C(C=C732)OC733C=CC(=CC733)SC734=NC735=C(C(=N734)SC736=CC=C(C=C736)OC737C=CC(=CC737)SC738=NC739=C(C(=N738)SC740=CC=C(C=C740)OC741C=CC(=CC741)SC742=NC743=C(C(=N742)SC744=CC=C(C=C744)OC745C=CC(=CC745)SC746=NC747=C(C(=N746)SC748=CC=C(C=C748)OC749C=CC(=CC749)SC750=NC751=C(C(=N750)SC752=CC=C(C=C752)OC753C=CC(=CC753)SC754=NC755=C(C(=N754)SC756=CC=C(C=C756)OC757C=CC(=CC757)SC758=NC759=C(C(=N758)SC760=CC=C(C=C760)OC761C=CC(=CC761)SC762=NC763=C(C(=N762)SC764=CC=C(C=C764)OC765C=CC(=CC765)SC766=NC767=C(C(=N766)SC768=CC=C(C=C768)OC769C=CC(=CC769)SC770=NC771=C(C(=N770)SC772=CC=C(C=C772)OC773C=CC(=CC773)SC774=NC775=C(C(=N774)SC776=CC=C(C=C776)OC777C=CC(=CC777)SC778=NC779=C(C(=N778)SC780=CC=C(C=C780)OC781C=CC(=CC781)SC782=NC783=C(C(=N782)SC784=CC=C(C=C784)OC785C=CC(=CC785)SC786=NC787=C(C(=N786)SC788=CC=C(C=C788)OC789C=CC(=CC789)SC790=NC791=C(C(=N790)SC792=CC=C(C=C792)OC793C=CC(=CC793)SC794=NC795=C(C(=N794)SC796=CC=C(C=C796)OC797C=CC(=CC797)SC798=NC799=C(C(=N798)SC800=CC=C(C=C800)OC801C=CC(=CC801)SC802=NC803=C(C(=N802)SC804=CC=C(C=C804)OC805C=CC(=CC805)SC806=NC807=C(C(=N806)SC808=CC=C(C=C808)OC809C=CC(=CC809)SC810=NC811=C(C(=N810)SC812=CC=C(C=C812)OC813C=CC(=CC813)SC814=NC815=C(C(=N814)SC816=CC=C(C=C816)OC817C=CC(=CC817)SC818=NC819=C(C(=N818)SC820=CC=C(C=C820)OC821C=CC(=CC821)SC822=NC823=C(C(=N822)SC824=CC=C(C=C824)OC825C=CC(=CC825)SC826=NC827=C(C(=N826)SC828=CC=C(C=C828)OC829C=CC(=CC829)SC830=NC831=C(C(=N830)SC832=CC=C(C=C832)OC833C=CC(=CC833)SC834=NC835=C(C(=N834)SC836=CC=C(C=C836)OC837C=CC(=CC837)SC838=NC839=C(C(=N838)SC840=CC=C(C=C840)OC841C=CC(=CC841)SC842=NC843=C(C(=N842)SC844=CC=C(C=C844)OC845C=CC(=CC845)SC846=NC847=C(C(=N846)SC848=CC=C(C=C848)OC849C=CC(=CC849)SC850=NC851=C(C(=N850)SC852=CC=C(C=C852)OC853C=CC(=CC853)SC854=NC855=C(C(=N854)SC856=CC=C(C=C856)OC857C=CC(=CC857)SC858=NC859=C(C(=N858)SC860=CC=C(C=C860)OC861C=CC(=CC861)SC862=NC863=C(C(=N862)SC864=CC=C(C=C864)OC865C=CC(=CC865)SC866=NC867=C(C(=N866)SC868=CC=C(C=C868)OC869C=CC(=CC869)SC870=NC871=C(C(=N870)SC872=CC=C(C=C872)OC873C=CC(=CC873)SC874=NC875=C(C(=N874)SC876=CC=C(C=C876)OC877C=CC(=CC877)SC878=NC879=C(C(=N878)SC880=CC=C(C=C880)OC881C=CC(=CC881)SC882=NC883=C(C(=N882)SC884=CC=C(C=C884)OC885C=CC(=CC885)SC886=NC887=C(C(=N886)SC888=CC=C(C=C888)OC889C=CC(=CC889)SC890=NC891=C(C(=N890)SC892=CC=C(C=C892)OC893C=CC(=CC893)SC894=NC895=C(C(=N894)SC896=CC=C(C=C896)OC897C=CC(=CC897)SC898=NC899=C(C(=N898)SC900=CC=C(C=C900)OC901C=CC(=CC901)SC902=NC903=C(C(=N902)SC904=CC=C(C=C904)OC905C=CC(=CC905)SC906=NC907=C(C(=N906)SC908=CC=C(C=C908)OC909C=CC(=CC909)SC910=NC911=C(C(=N910)SC912=CC=C(C=C912)OC913C=CC(=CC913)SC914=NC915=C(C(=N914)SC916=CC=C(C=C916)OC917C=CC(=CC917)SC918=NC919=C(C(=N918)SC920=CC=C(C=C920)OC921C=CC(=CC921)SC922=NC923=C(C(=N922)SC924=CC=C(C=C924)OC925C=CC(=CC925)SC926=NC927=C(C(=N926)SC928=CC=C(C=C928)OC929C=CC(=CC929)SC930=NC931=C(C(=N930)SC932=CC=C(C=C932)OC933C=CC(=CC933)SC934=NC935=C(C(=N934)SC936=CC=C(C=C936)OC937C=CC(=CC937)SC938=NC939=C(C(=N938)SC940=CC=C(C=C940)OC941C=CC(=CC941)SC942=NC943=C(C(=N942)SC944=CC=C(C=C944)OC945C=CC(=CC945)SC946=NC947=C(C(=N946)SC948=CC=C(C=C948)OC949C=CC(=CC949)SC950=NC951=C(C(=N950)SC952=CC=C(C=C952)OC953C=CC(=CC953)SC954=NC955=C(C(=N954)SC956=CC=C(C=C956)OC957C=CC(=CC957)SC958=NC959=C(C(=N958)SC960=CC=C(C=C960)OC961C=CC(=CC961)SC962=NC963=C(C(=N962)SC964=CC=C(C=C964)OC965C=CC(=CC965)SC966=NC967=C(C(=N966)SC968=CC=C(C=C968)OC969C=CC(=CC969)SC970=NC971=C(C(=N970)SC972=CC=C(C=C972)OC973C=CC(=CC973)SC974=NC975=C(C(=N974)SC976=CC=C(C=C976)OC977C=CC(=CC977)SC978=NC979=C(C(=N978)SC980=CC=C(C=C980)OC981C=CC(=CC981)SC982=NC983=C(C(=N982)SC984=CC=C(C=C984)OC985C=CC(=CC985)SC986=NC987=C(C(=N986)SC988=CC=C(C=C988)OC989C=CC(=CC989)SC990=NC991=C(C(=N990)SC992=CC=C(C=C992)OC993C=CC(=CC993)SC994=NC995=C(C(=N994)SC996=CC=C(C=C996)OC997C=CC(=CC997)SC998=NC999=C(C(=N998)SC1000=CC=C(C=C1000)OC1001C=CC(=CC1001)SC1002=NC1003=C(C(=N1002)SC1004=CC=C(C=C1004)OC1005C=CC(=CC1005)SC1006=NC1007=C(C(=N1006)SC1008=CC=C(C=C1008)OC1009C=CC(=CC1009)SC1010=NC1011=C(C(=N1010)SC1012=CC=C(C=C1012)OC1013C=CC(=CC1013)SC1014=NC1015=C(C(=N1014)SC1016=CC=C(C=C1016)OC1017C=CC(=CC1017)SC1018=NC1019=C(C(=N1018)SC1020=CC=C(C=C1020)OC1021C=CC(=CC1021)SC1022=NC1023=C(C(=N1022)SC1024=CC=C(C=C1024)OC1025C=CC(=CC1025)SC1026=NC1027=C(C(=N1026)SC1028=CC=C(C=C1028)OC1029C=CC(=CC1029)SC1030=NC1031=C(C(=N1030)SC1032=CC=C(C=C1032)OC1033C=CC(=CC1033)SC1034=NC1035=C(C(=N1034)SC1036=CC=C(C=C1036)OC1037C=CC(=CC1037)SC1038=NC1039=C(C(=N1038)SC1040=CC=C(C=C1040)OC1041C=CC(=CC1041)SC1042=NC1043=C(C(=N1042)SC1044=CC=C(C=C1044)OC1045C=CC(=CC1045)SC1046=NC1047=C(C(=N1046)SC1048=CC=C(C=C1048)OC1049C=CC(=CC1049)SC1050=NC1051=C(C(=N1050)SC1052=CC=C(C=C1052)OC1053C=CC(=CC1053)SC1054=NC1055=C(C(=N

Low Energy Inverse Photoelectron Spectroscopy (LEIPS)



Ultraviolet Photoelectron Spectroscopy (UPS)



ONTz-RD

SNTz-RD

Electron Affinity

2.74 eV

2.81 eV

Ionization Potential

5.73 eV

5.73 eV

E_g

2.99 eV

2.92 eV

緑色波長選択性: *Green Light Wavelength Selective Factor* (S_G)

cf. Average visible transmission (AVT): Lunt, R. R. et al. *Nat. Energy* **2017**, 2, 849.

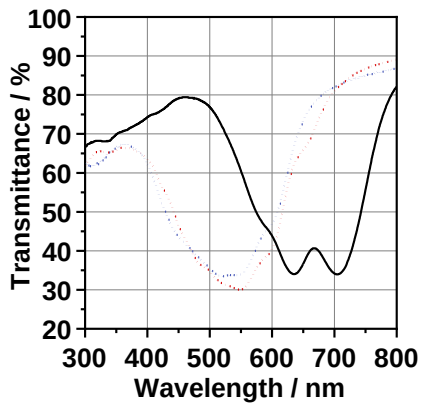
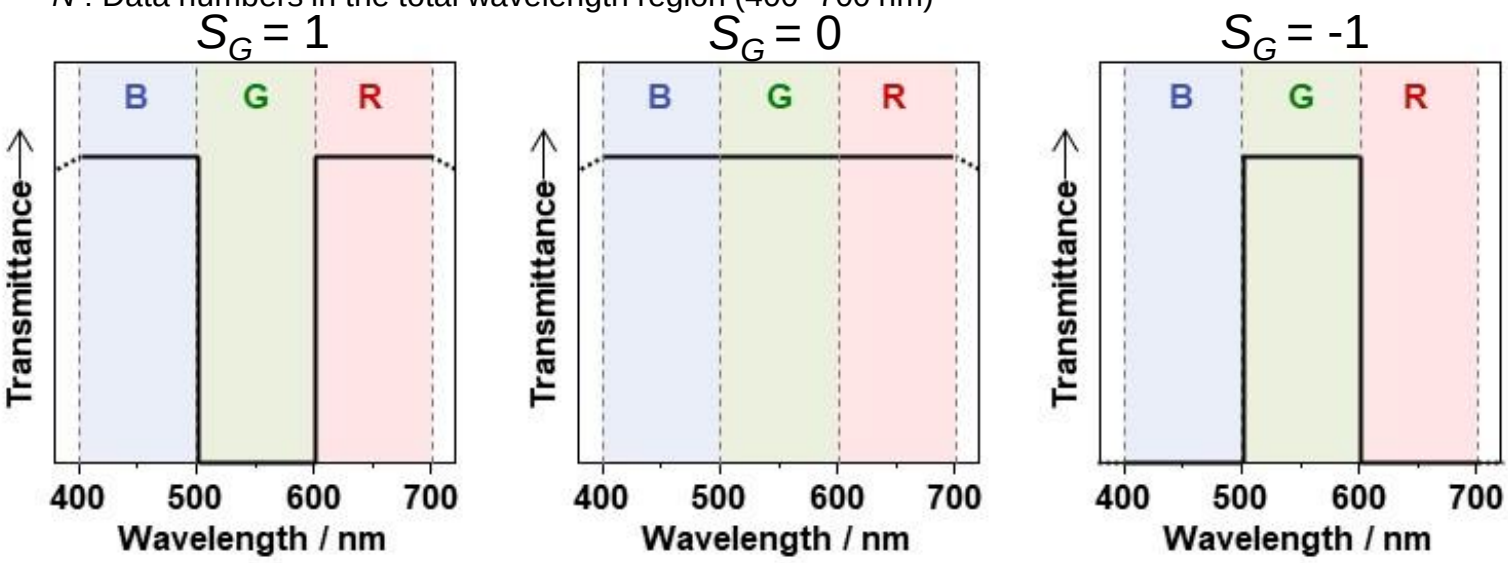
$$S_G = \left\{ \frac{1}{N_G} \sum_{\lambda \in G} (1 - T) - \frac{1}{N_{RB}} \sum_{\lambda \in RB} (1 - T) \right\} / \left\{ \frac{1}{N} \sum_{\lambda \in RGB} (1 - T) \right\}$$

T : Transmittance of the blend film

N_G : Data numbers in the green light wavelength region (500–600 nm)

N_{RB} : Data numbers in the blue and red wavelength regions (400–500 and 600–700 nm),

N : Data numbers in the total wavelength region (400–700 nm)



- PBDB-T:ITIC ($S_G = -0.06$)
- P3HT:SNTz-RD ($S_G = 0.44$)
- P3HT:ONTz-RD ($S_G = 0.42$)

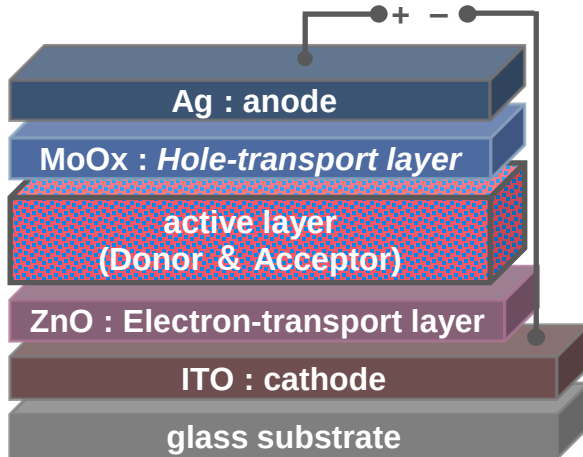
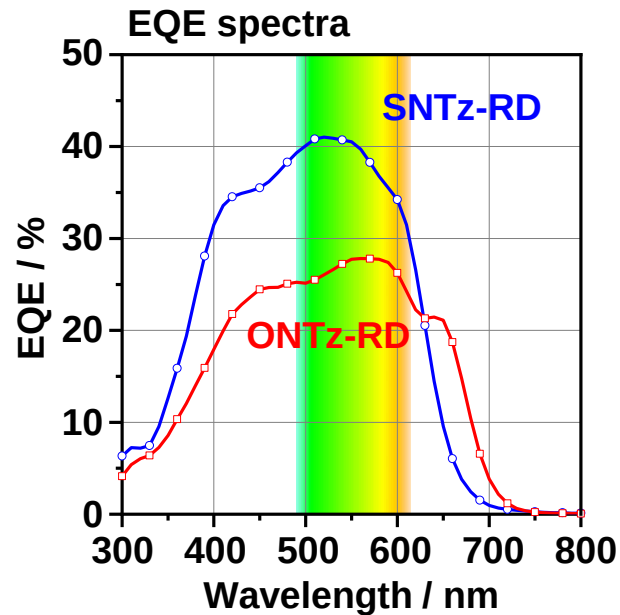
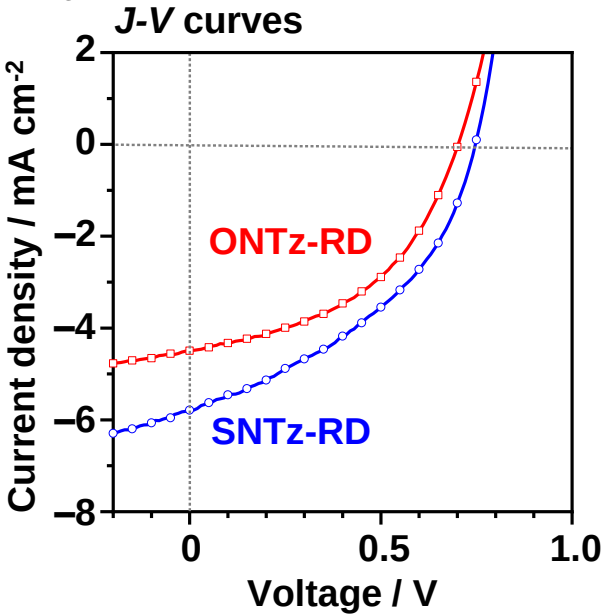
緑色波長領域の発電効率:

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_{λ} and $nPhoton_{\lambda}$ are the EQEs of the OSCs and the photon flux of AM1.5G at wavelength λ
 P_G is the irradiated energy in the 500–600 nm wavelength range of AM1.5G

($P_G = 15.1 \text{ mW cm}^{-2}$)

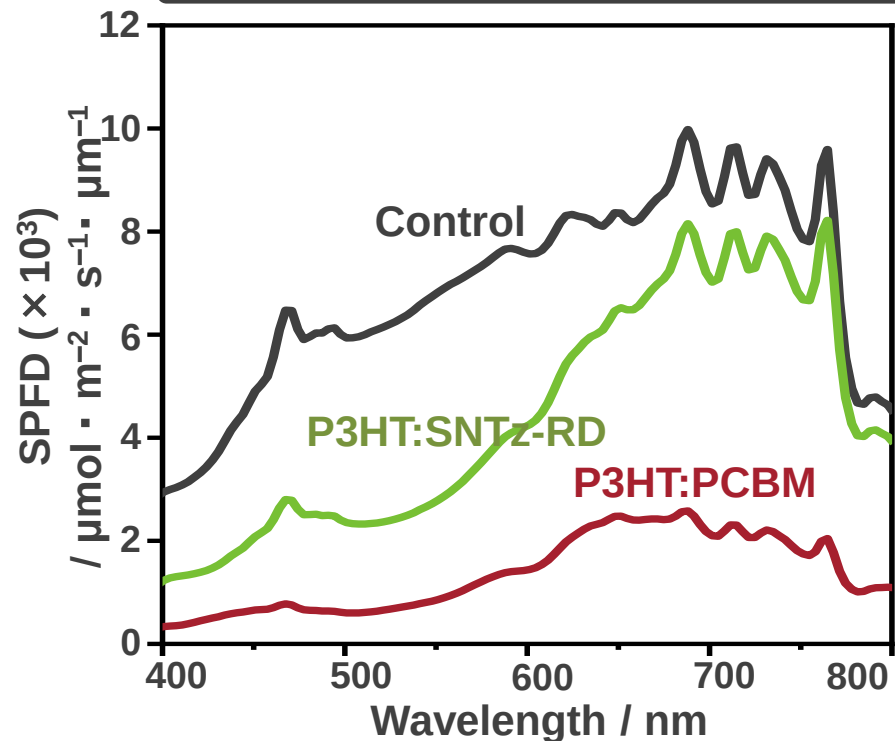


Fabrication Condition

donor : acceptor = 1 : 1
 10 mg/mL CHCl_3 solution
 spin-coating (1000 rpm)

Acceptor	$J_{sc} / \text{mA} \cdot \text{cm}^{-2}$	V_{oc} / V	FF / %	PCE-GR / %
ONTz-RD	4.49	0.70	46	4.2
SNTz-RD	5.79	0.75	41	5.8

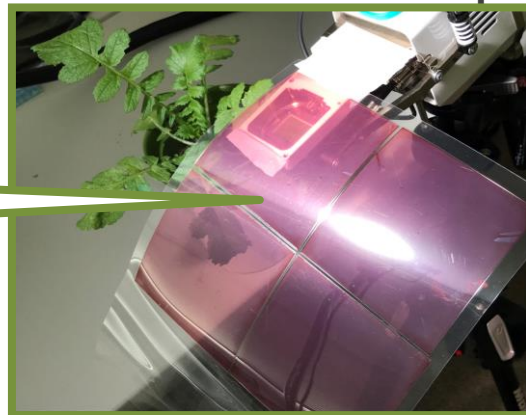
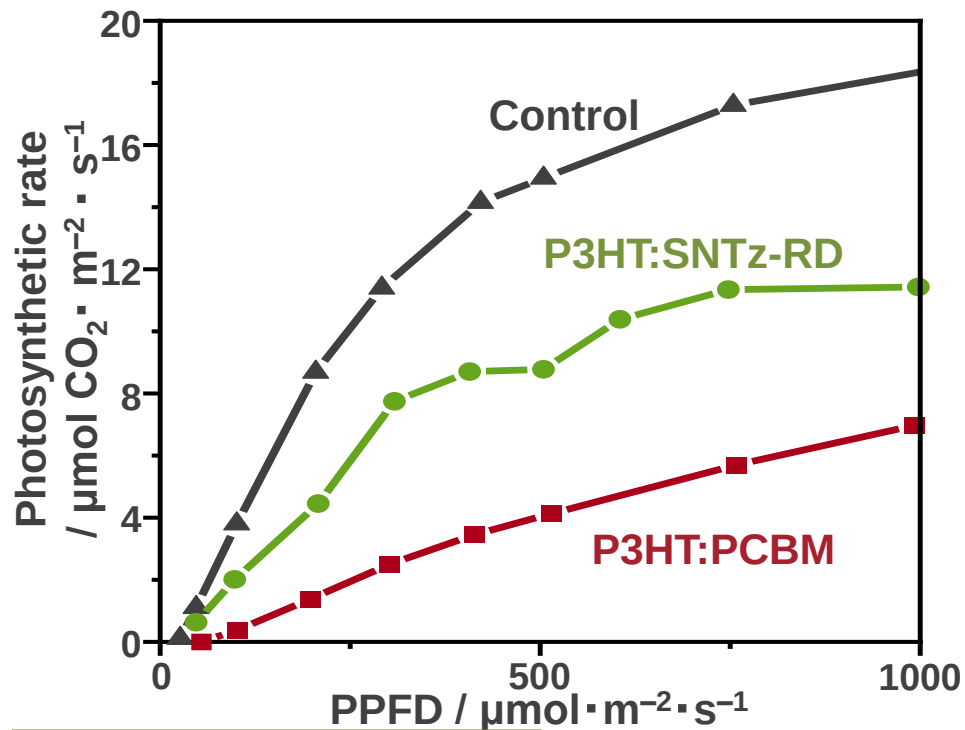
Transmittance Spectra of Films



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

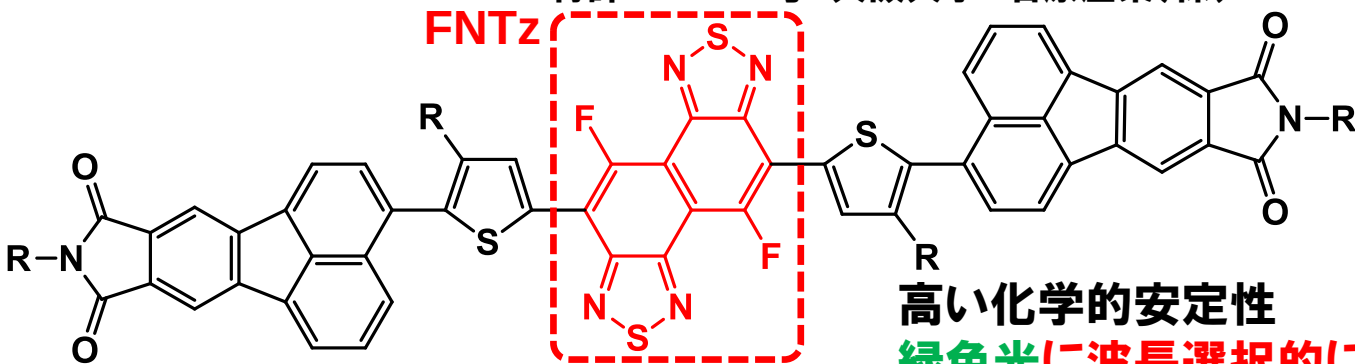
Film of P3HT:SNtz-RD

Photosynthetic of Films



緑色光波長選択的なアクセプター開発の進捗

特許6968373号 大阪大学 石原産業(株)



高い化学的安定性

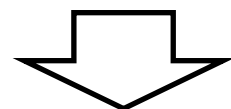
緑色光に波長選択的に吸収

9.3%のPCE-GR

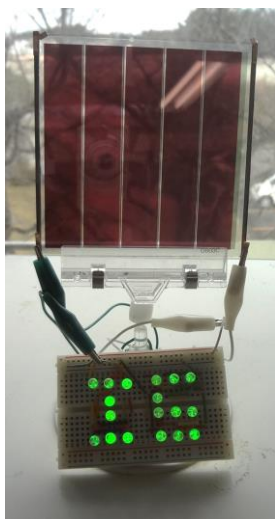
FNTz-FA

特許7029721号 大阪大学 石原産業(株)

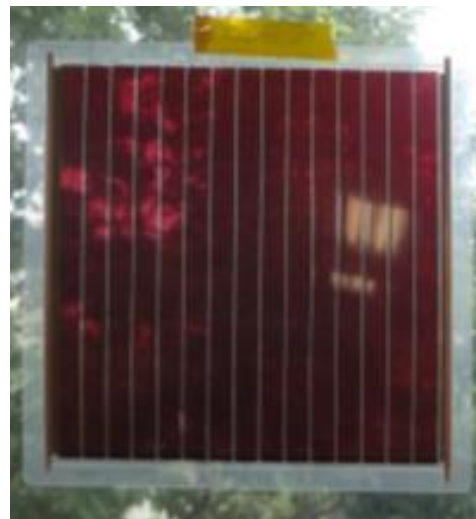
NPG Asia Mater. 2018, 10, 1016.



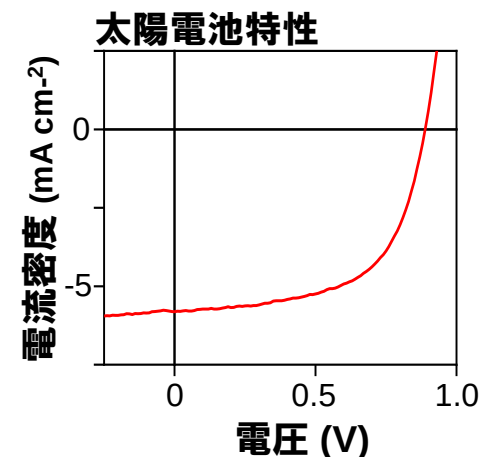
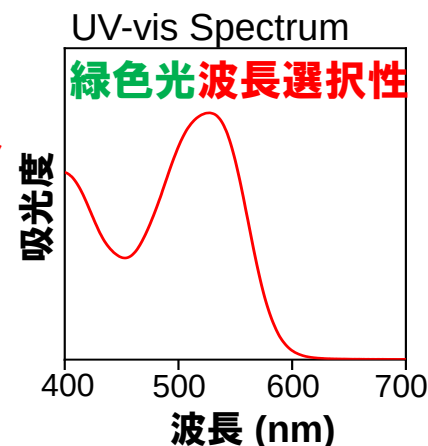
モジュール化検討



100 cm²

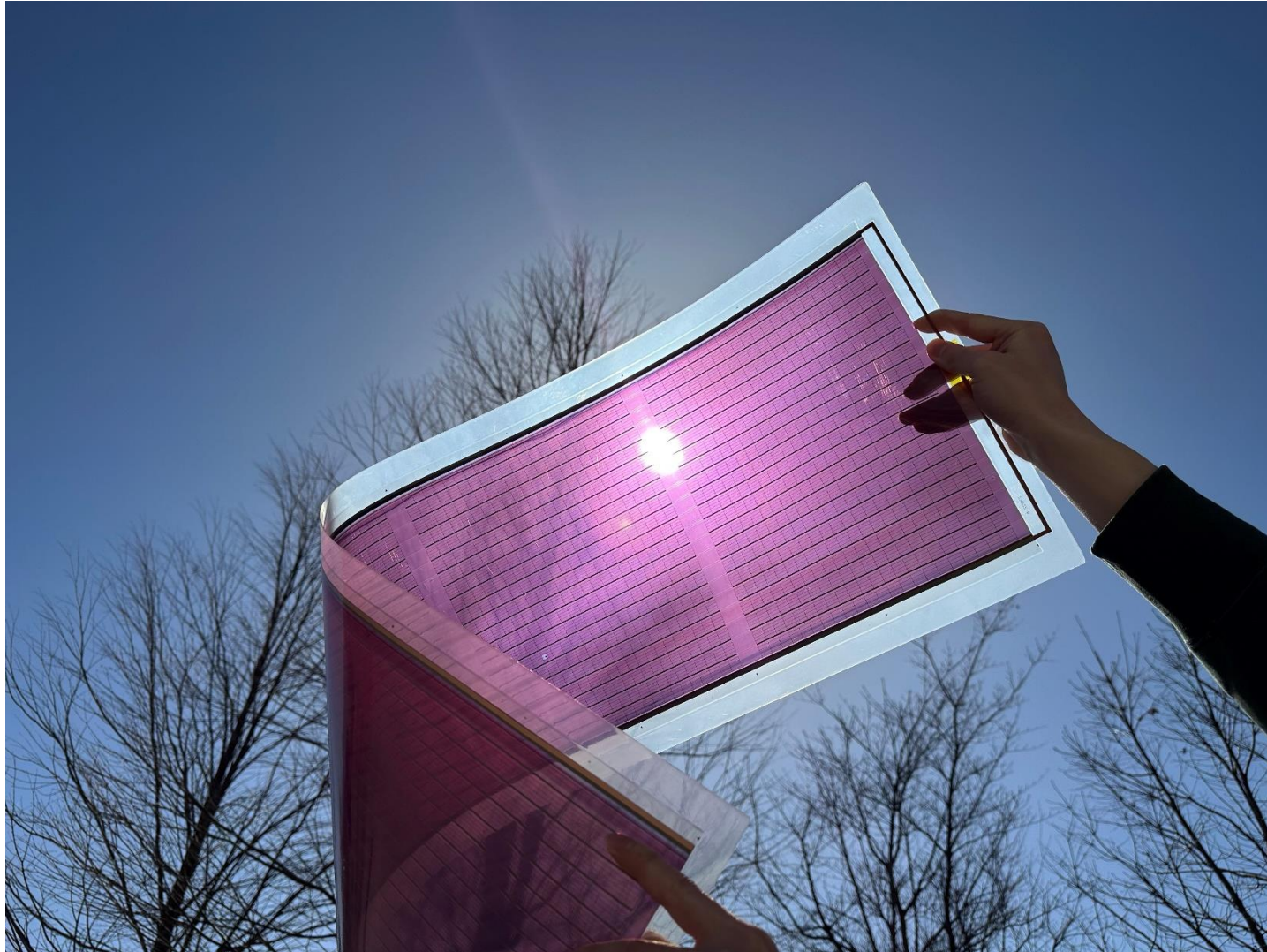


400 cm²



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



緑色光波長選択型OSCによる農作物評価(P3HT:FNTz-FA)

■ガラス温室での農業試験に向けた準備@屋内栽培

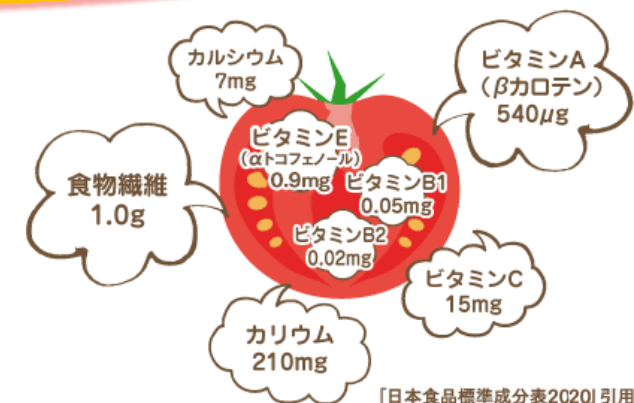
新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!

JST
MIRAI 未来社会
創造事業

✓ くさ丈計測
✓ 収穫量計測

評価・分析

栄養成分分析



屋内栽培実験室の様子(高輝度LED&疑似太陽光LEDを使用)

トマト栽培

緑色光波長選択型OSCによる農作物評価

白色光 (oscなし)



屋内トマト栽培実験結果(個数・収量・実一個当たりの重さ)



OSC無しの農作物栽培と比べて収穫量増加

各ステージごとの個数 (個)

	ステージ1	ステージ2	ステージ3	ステージ4	ステージ5	合計	比較
OSCなし	64	3	2	0	13	82	—
赤色OSC	45	12	8	17	23	105	1.28
緑色OSC	59	1	7	3	0	70	0.85

各ステージごとの重さ (g)

	ステージ1	ステージ2	ステージ3	ステージ4	ステージ5	合計	比較
OSCなし	110	15	10	0	90	225	—
赤色OSC	95	47	35	94	189	460	2.05
緑色OSC	163	11	87	43	0	304	1.35

実一個あたりの重さ (g)

	ステージ1	ステージ2	ステージ3	ステージ4	ステージ5	合計	比較
OSCなし	1.72	4.90	5.00	0	6.92	2.7	—
赤色OSC	2.12	3.89	4.38	5.53	8.22	4.4	1.60
緑色OSC	2.76	10.70	12.43	14.33	0	4.3	1.58

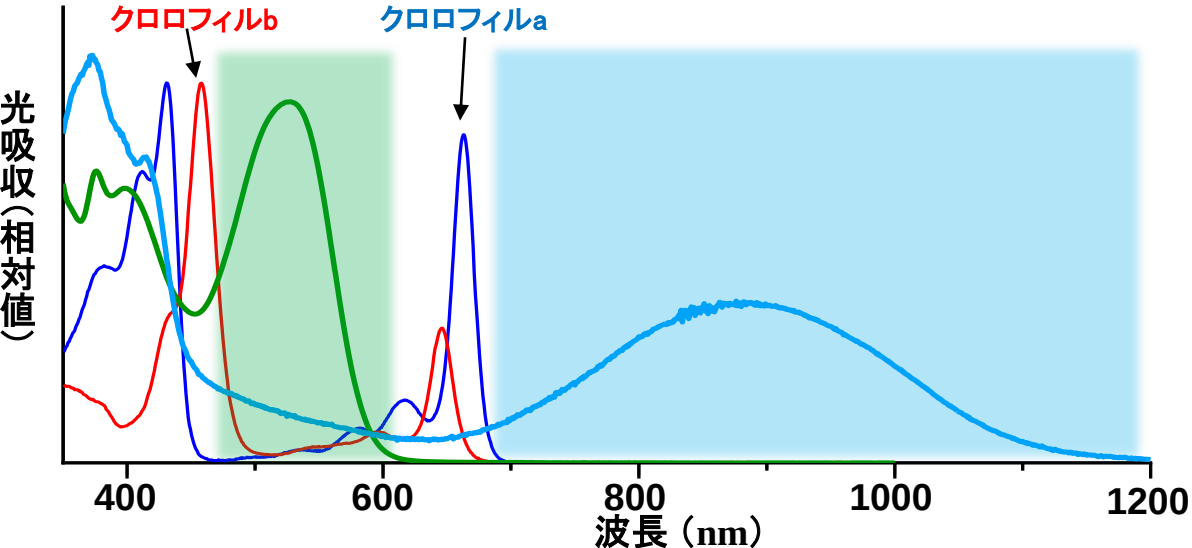
赤色光 (赤色osc)



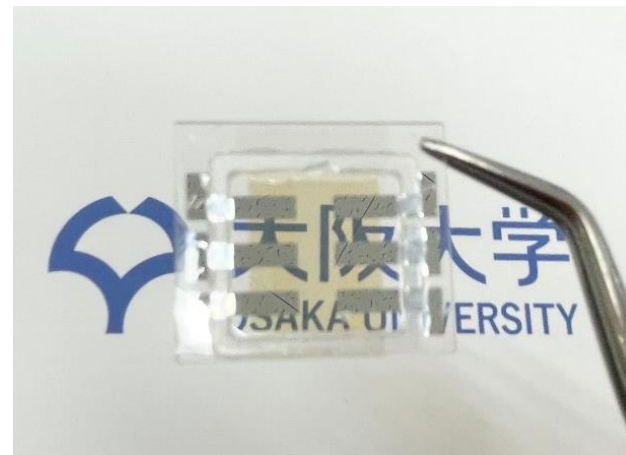
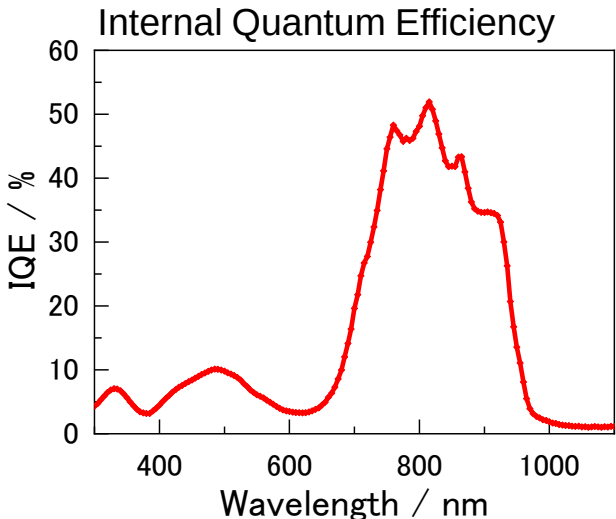
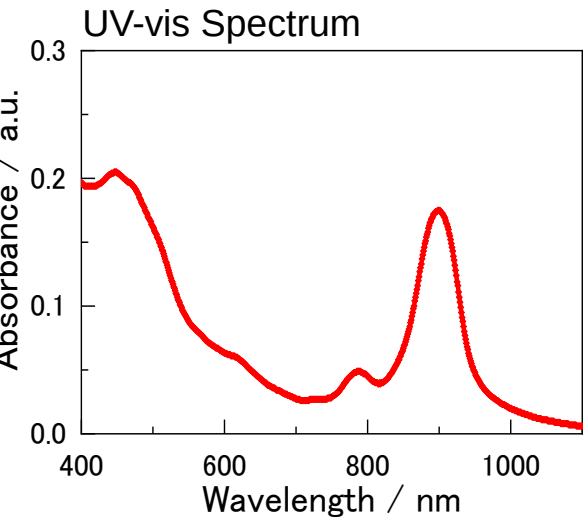
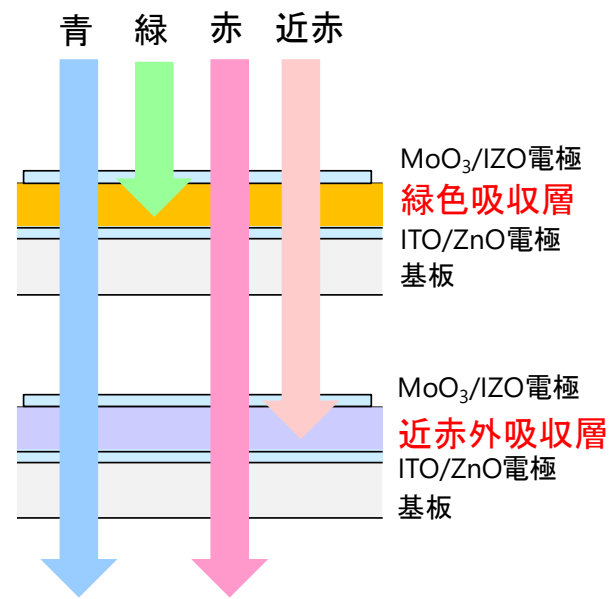
緑色光 (緑色osc)



近赤外波長選択型の有機太陽電池の開発



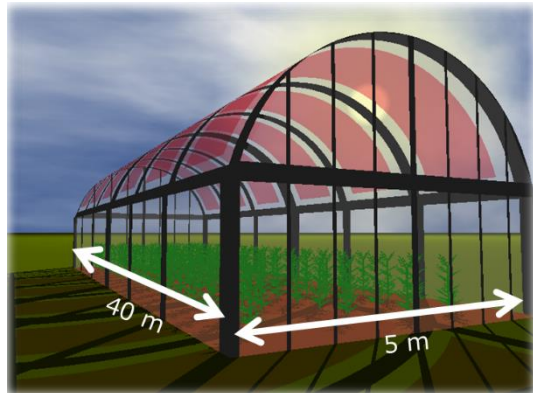
4端子のタンデム構造を想定



9%のPCE-GRの波長選択型OSCが利用で、
農業用ハウスの電力を賄うことが可能

縦40 m, 横5 m, アーチ長さ 2.5π を仮定すると
設置面積 $\doteq 300 \text{ m}^2$

平均日射量を 1 kW/m^2 、日照時間を6 時間と仮定して、
発電効率3%とすると、1 日あたりの発電量は、
 $1 (\text{kW/m}^2) \times 6 (\text{h}) \times 300 (\text{m}^2) \times 0.03 = 54 (\text{kWh})$



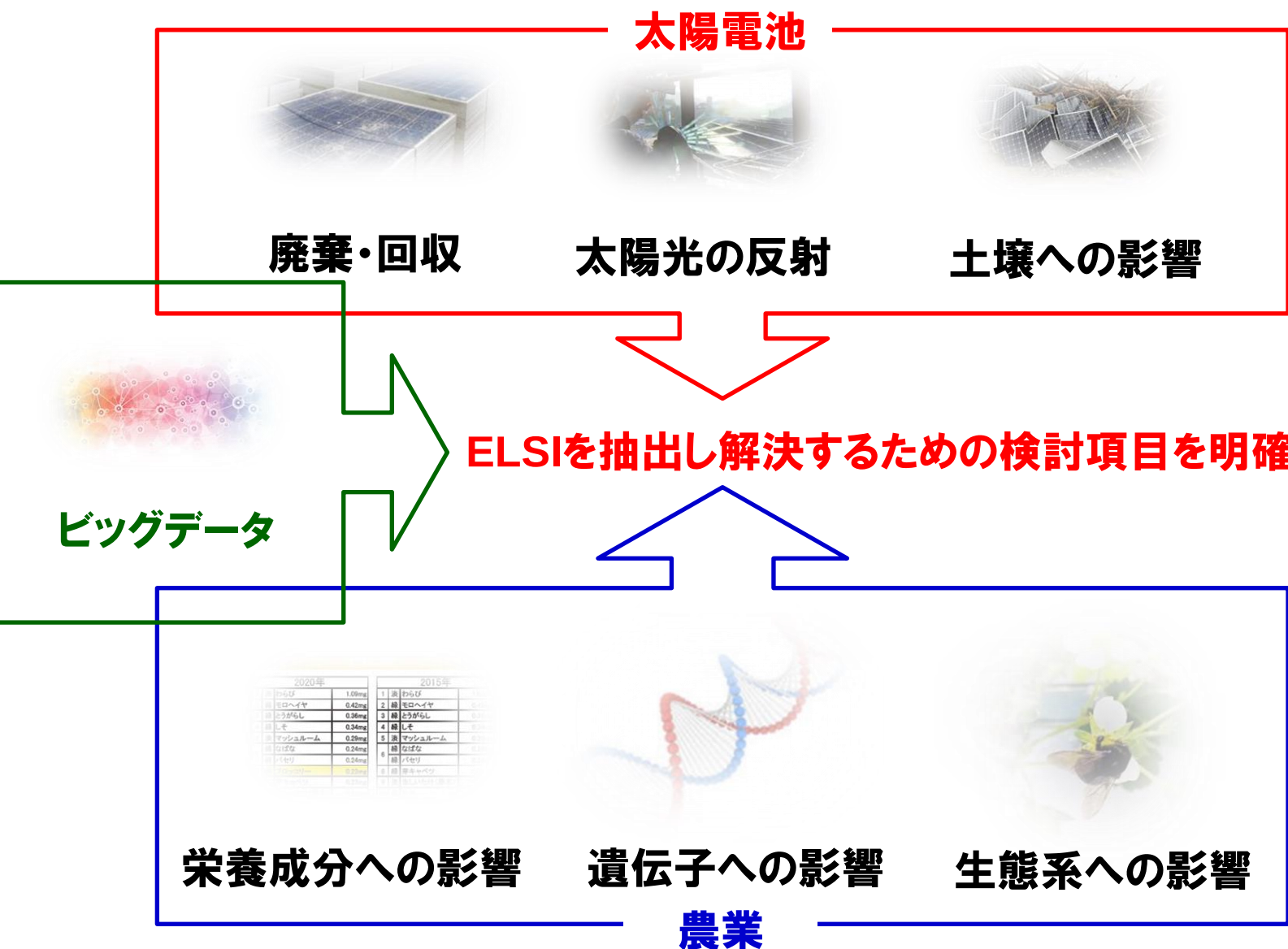
項目	最大消費電力	補足	運転可能時間
農業ハウス用ヒートポンプ	3.4 kW	7馬力	16時間
農業ハウス用除湿機	1.8 kW	2馬力	30時間
農業ハウス用循環扇	86 W		628時間
農業ハウス用送風機	300 W		180時間

年間発電量は、 $54 (\text{kWh}) \times 365 = 19,710 (\text{kWh})$

電気料金を20 円/kWh とすると $19,710 (\text{kWh}) \times 20 (\text{円/kWh}) \doteq 39\text{万円}$

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



2020年		2015年	
たんぱく質	1.09mg	1. 卵	1.09mg
たんぱく質	0.42mg	2. 鶏	0.42mg
たんぱく質	0.36mg	3. 鶏	0.36mg
たんぱく質	0.34mg	4. 鶏	0.34mg
たんぱく質	0.29mg	5. 鶏	0.29mg
たんぱく質	0.24mg	6. 鶏	0.24mg
たんぱく質	0.24mg	7. 鶏	0.24mg
たんぱく質	0.23mg	8. 鶏	0.23mg

- ・ 有機半導体材料開発

スケールアップ(数グラム～数キロまで)と材料の多様性

- ・ 有機太陽電池モジュール開発

モジュールの最適化、および、スケールアップ

- ・ 農業の実証実験

波長選択型有機太陽電池が農作物に及ぼす影響の系統的な解明

- ・ 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）

農業用ハウスに搭載する波長選択型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

新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!



お問い合わせ先

大阪大学 産業科学研究所

戦略室（担当：加藤）

T E L 0 6 – 6 8 7 9 – 8 4 4 8

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