

【事業名】 光透過型有機薄膜太陽電池を用いた施設園芸におけるCO2排出削減技術の開発

【代表者】 京都大学農学研究科 土井元章

【実施予定年度】平成27～29年度

## (1)技術開発概要

### ①【技術開発概要・目的】

CO2排出量削減のためには、将来の太陽電池設置ポテンシャルが最大とされる農地において、再生可能エネルギーの生産と利用を推進することが有効と考えられる。本技術開発では、光合成に有効な波長を透過させることによって、太陽光による発電と高い作物生産性の両立が可能な光透過型有機薄膜太陽電池を開発するとともに、既存の園芸施設にも設置可能な内張り用のOPV資材を開発する。加えてトマト生産への適合性を検証することで、農業生産と電力生産を両立させ、もって施設園芸生産における大幅なCO2排出削減を可能とするゼロエネルギーファーム(ZEF)の可能性を探り、農業分野における太陽光発電導入の促進へと繋げる。

### ②【技術開発の詳細】

#### ○重要な開発要素

##### A1: 施設園芸に適合した光透過型OPV開発

透過光の作物生産への影響を視野に入れた有機半導体色素材料を開発する。また、可視光透過型薄膜ペロブスカイト太陽電池(以下P-OPVと略す)を開発する。光電変換効率5%以上、光透過率30%以上のP-OPVモジュール(サイズ50mm×50mm以上)を製作する。

##### A2: 農電併産OPV資材の開発

既存のOPVモジュールを用いて、再封止とパネル化を行い、耐久試験を実施する。最終的に軽量で出力42W\*以上の内張り用パネルを開発する。施設内日射量をシミュレートし、適正な展張法を提案する。

##### A3: 農電併産実証試験

OPV設置温室でトマトを栽培し、温室内環境への影響と収量・品質への影響を把握する。併せて、季節別、設置面別の発電量や施設の電力消費量を計測し、周年の作物収量の減少がゼロとなるための条件を提案する。

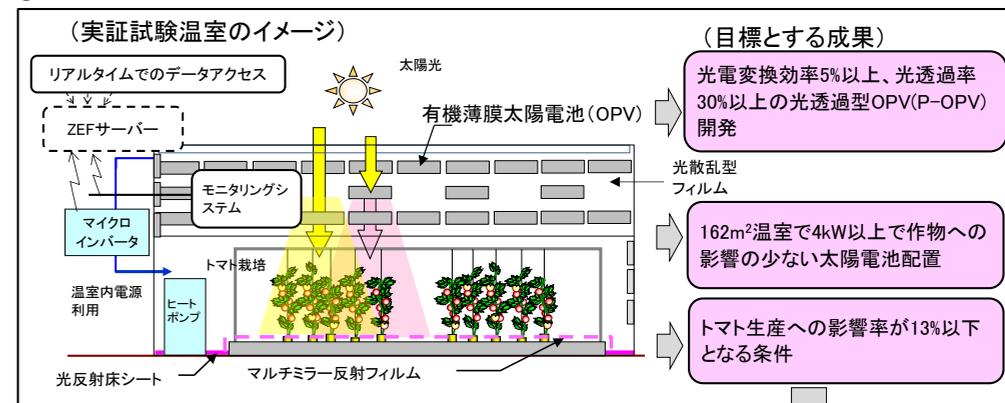
##### A4: その他の開発要素: 農電併産システムの有効性評価研究

#### B. 開発要素のシステム統合と、C. その実証

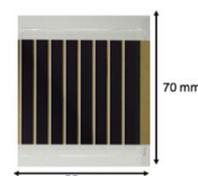
施設に既存のOPV(光透過率10%)を配置した実証試験結果や日射シミュレーション結果に基づき、作物生産への影響の少ないOPV配置法を確立する。この結果を基に開発した光透過率30%以上のP-OPVを配置した場合の生産性への影響を予測する。加えて、LCA-GIS解析により開発したシステムを全国展開した場合のCO2排出削減量とP-OPV設置による経済効果を明らかにする。

\* 光電変換効率5%のモジュールを1,650×600mmパネル化した場合の発電出力は42.7Wとなる。

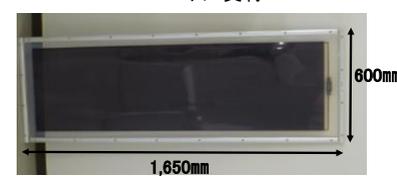
### ③【システム構成】



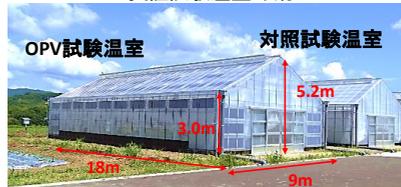
光透過型P-OPVモジュール



OPVパネル資材



実証試験温室外観



OPV試験温室内部



### ④【技術開発の目標・リスク】

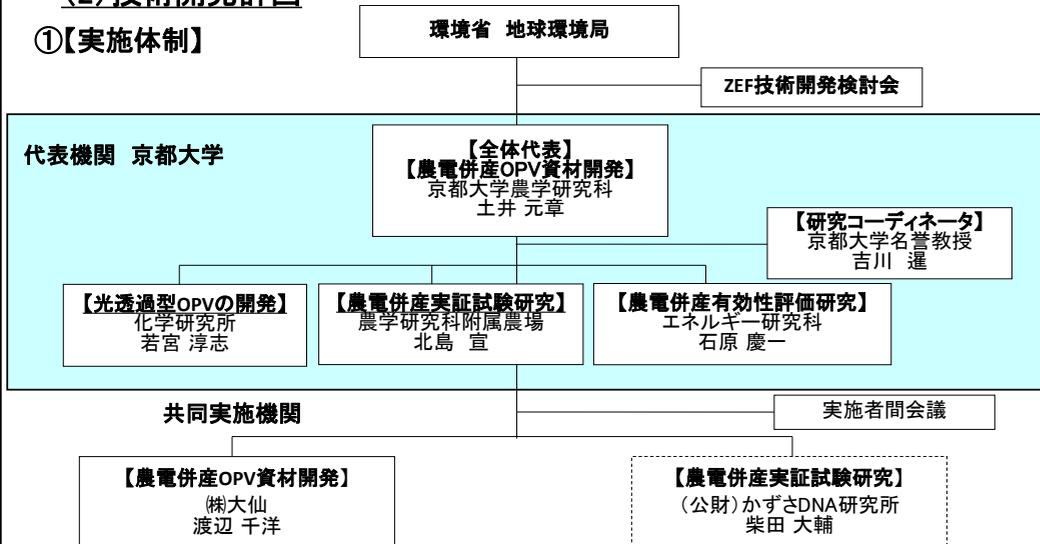
○想定ユーザ・利用価値: 施設園芸生産者。施設園芸で排出されるCO2の削減と収益の増大。

○目標となる仕様及び性能: 農電併産OPV資材の開発(162m<sup>2</sup>温室において4kW級光透過型OPV資材が設置可能で、作物への影響が13%以下となる設置法)。OPVモジュールとして光電変換効率5%以上で光透過率30%以上を目標とする。モジュールサイズは50mm×50mm以上とする。

○開発工程のリスク・対応策: 光透過型OPVの発電効率が低下した場合や作物生産量が目標値以下となった場合が想定される。発電効率が低下した場合は封止フィルムや封止法を変更し、低下が起きない方法を提案する。作物生産量が目標以下となった場合は、生産量を高める栽培方法やOPVの設置法を変更する。

## (2)技術開発計画

### ①【実施体制】



### ②【実施スケジュール】

実施項目	実施機関／研究責任者	2015年度	2016年度	2017年度
1. 光透過型OPVの開発	京都大学 若宮	←	→	→
		7,684	11,877	16,542
2. 農電併産OPV資材開発	OPV資材の開発	←	→	→
		28,207	46,718	39,911
	OPV資材の製作	←	→	→
		29,513	44,850	21,472
3. 農電併産実証試験研究	農電併産実証試験研究	←	→	→
		10,841	46,155	59,916
	作物成分評価試験	←	→	→
		5,819	9,234	0
4. 農電併産システム有効性評価研究	京都大学 石原	←	→	→
		8,606	16,965	14,928
年度別総額(千円)		90,670	175,799	152,769

### ③【事業化・普及の見込み】

#### ○事業化計画

事業化を担う主たる事業者	太陽電池メーカー, 温室施工事業者, 施設園芸生産者
--------------	----------------------------

- ・2018年以降の長期実証事業を通じた園芸施設用ZEFの認知度の拡大。
- ・2023年までに、ZEFシステムの製品化、作物別多様化、低価格化を進める。
- ・2025年までに、個別要素技術(OPVの露地栽培技術)の確立と商品化。
- ・2030年を目処として、国の強力な支援のもと施設園芸、露地野菜、水田への適用により農電併産を拡大。

#### ○事業展開における普及の見込み

- ・国の支援: 国等の事業となり、再生可能エネルギー普及促進事業等への組み込み。
- ・実用化段階コスト目標: 7万円/kW (園芸施設OPV資材として: 既存の結晶シリコン型は13万円/kW)。発電単価は9.6円/kWh。

#### ○年度別販売見込み

年度	供給開始年度	2025	2030
目標設置面積(ha)	2017年	324/年	324/年
目標累積設置面積(ha)		3,245	4,867
目標単価(万円/kW)		7	7

#### ○普及におけるリスク(課題・障害)

- ・OPV発電効率および耐久性の向上。
- ・長期実証試験の継続実施: 京都大学附属農場で長期実証試験にかかる費用が課題。
- ・農電併産が実証できた場合の「発電施設に係る農地転用許可制度」(農水省通知)からの緩和、除外。
- ・本システムを導入するには施設園芸の大規模化が必要(イニシャルコストの調達)。このため、国の進める「次世代施設園芸導入加速化支援事業」等の事業に組み込む。本事業において推進委員会を設置し、農水省関係者の参加による本技術の理解。

### ④【エネルギー起源CO2削減効果】

開発品1台当たりのCO2削減量(t-CO2/ha・年)	343.5t-CO2/ha・年
-----------------------------	-----------------

年度	2025	2030
CO2削減量(万t-CO2/年)	111	167
累積CO2削減量(万t-CO2)	585	1,310
CO2削減コスト(円/t-CO2) =環境省から受ける補助総額(円)÷ 当該年度までの累積CO2削減量(t-CO2)	72	32

### (3)技術開発成果

#### ①【これまでの成果】

- ・光透過型OPV: 開発した光透過型ペロブスカイト(P-OPV)モジュール(サイズ3,850mm<sup>2</sup>(70mm×55mm)。光透過率32.5%, 光電変換効率8.1%)。
- ・施設園芸用OPV資材: 最小モジュールを144~216台配置したP-OPVパネル(サイズ1,650mm×600mm。発電出力42.9~64.3W/台, 実用パネルの光透過率31.4~47.3%)。・温室への適正設置条件: 秋~冬季, 86台。春~夏季, 100台。発電出力, 年間平均で4.0~6.0kW/162m<sup>2</sup>温室。年間期待発電量, 1,362~2,043kWh/年(京都府木津川市日射量での値)。
- ・トマト生産への影響: 果実重量で6.5~8.4%減少(可販果実では3.4~4.7%減少)。
- ・有効性評価: 全国のトマト温室に設置した場合35.8万t-CO<sub>2</sub>の削減に貢献できる。一方で、トマト栽培事業者の所得を増やすには光電変換効率を10.4%以上にすることがある。

#### ②【CO<sub>2</sub>削減効果】

##### ○2020年時点の削減効果 (試算方法パターン A-a,Ⅲ-i ;参考資料②)

- ・国内潜在市場規模: 施設花卉栽培の規模は6,500ha(園芸施設の設置状況, 平成26年度, 農水省統計)
- ・2020年度に期待される最大普及量: 普及規模は年間0.5%とすると32.5ha。
- ・開発モジュールを1ha温室に設置した場合のCO<sub>2</sub>削減量: 156t-CO<sub>2</sub>/ha・年(6kWシステムでの計算)。
- ・年間CO<sub>2</sub>削減量: 5,071t-CO<sub>2</sub>

##### ○2030年時点の削減効果 (試算方法パターン A-a,Ⅲ-i ;参考資料②)

- ・国内潜在市場規模: 2025年には光電変換効率が10.4%に上昇し、施設花卉栽培のみならず、施設野菜栽培にも適用(規模3万ha)。
- ・2030年度に期待される最大普及量: 施設花卉栽培での普及率は2026年から1.0%、施設野菜栽培での普及率は年間0.5%で計算。施設花卉栽培で520ha、施設野菜栽培で900haとなる。
- ・開発モジュールをパネル化し1ha温室に設置した場合のCO<sub>2</sub>削減量: 200t-CO<sub>2</sub>/ha・年(光電変換効率10.4%)。
- ・年間CO<sub>2</sub>削減量: 28.4万t-CO<sub>2</sub>(花卉: 10.4万t-CO<sub>2</sub>, 野菜: 18.0万t-CO<sub>2</sub>)

#### ③【成果発表状況】

- これまでに合計22件の情報発信をおこなった。学術雑誌投稿2件、学会発表11件(海外2件)、その他情報発信9件。
- ・論文投稿(2件): Acta Hort., Int. J. LCA
  - ・学会発表(11件): アジア園芸学会議(成都)、FAPESP-JSPSワークショップ、土壌学会、日本化学会、園芸学会等
  - ・情報発信(9件): 第4回 AUN/SEED-Net Regional conference on Energy Engineering2016(ブノンペン)、テレビ放映(TBS, 「Earth Lab」)、けいはんな情報通信フェア等

#### ④【技術開発終了後の事業展開】

##### ○普及計画

- ・トマトの場合、販売単価が高いため太陽電池の設置に伴う生産量の低下が起こると、所得増が期待できないことが明らかとなった。このため太陽電池設置により影響を受けないコチヨウラン等の施設花卉栽培から先駆的に導入を進め、光電変換効率の上昇に伴って施設野菜栽培への導入をおこなう。
- ・太陽電池メーカーによる光電変換効率の上昇を図る(10.4%到達は2025年頃)。
- ・ペロブスカイト等の有機系太陽電池は印刷技術であるロール・ツー・ロール法により、製造価格が大きく引き下げることが可能であり、この製造法の確立によって、普及量が増加する(2025年頃)。

##### ○事業拡大シナリオ

	2018	2020	2025	2030
施設花卉温室(6,500ha)	設置率0%	設置率0.5%/年	設置率1.0%/年	設置率1.0%/年
施設野菜温室(30,000ha)			設置率0.5%/年	設置率0.5%/年
光電変換効率の上昇		8.1%	10.4%	12.0%
低コスト製造法確立				ロールツーロール法の確立
耐久性の向上				10年以上の耐久性
農業事業者の集約化(大規模化)				
農電併産への展開				農地での太陽光発電の推進

##### ○シナリオ実現上の課題

- ・施設園芸事業者の多くは零細であり、農水省が進める農業事業の補助対象とし、施設への太陽電池設置に必要な初期投資を支援し、経営体力の強化を進める必要がある。
- ・日本唯一の有機太陽電池供給事業者であった三菱化学(現:三菱ケミカル)が有機太陽電池の製造から撤退した(2017年)。このため、今後、実用モジュールの供給メーカーの出現を待つ必要がある。東芝や東レにおいて検討が進められている。

# ○参考資料

## 成果の要約と展開

### 【本事業の成果】

**目標**  
 光電変換効率: 5%以上  
 光透過率: 30%以上  
 サイズ: 50mm × 50mm以上

**【モジュール性能】**  
 光電変換効率: 8.1%  
 光透過率: 32.5%  
 モジュールサイズ: 70mm × 55mm

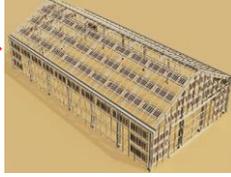
(開発した光透過型 P-OPVモジュール)



(実用パネル)



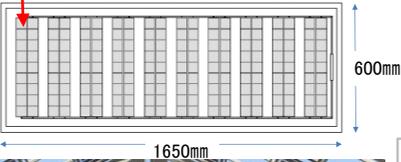
(温室等の施設への設置)



**目標:**  
 発電出力4kW以上  
 (162m<sup>2</sup>温室)

**【発電出力】**  
 4.0 ~ 6.0kW

(実用パネルの形状)



**目標:**  
 トマト生産量低下13%以内  
 生産量低下抑制手法提案

**【農電併産効果】**  
 年間発電量: 1,362 ~ 2,043 kWh  
 トマト生産量への影響: 6.5 ~ 8.4%  
 (京都府木津地域: 162m<sup>2</sup>温室)

**【生産量低下抑制手法】**  
 秋冬栽培における低価格CO<sub>2</sub>の効率的施用

**目標**  
 発電出力: 42.7W以上  
 光透過率: 30%以上

**【実用パネル能力】**  
 発電出力: 42.9 W ~ 64.3 W  
 光透過率: 31.4 ~ 47.3%  
 パネルサイズ: 1,650mm × 600 mm

**【全国展開効果】トマト栽培**  
 年間発電量: 4.5億kWh  
 CO<sub>2</sub>排出削減量: 35.8万t-CO<sub>2</sub>  
 経済性: 所得をプラスにするには耐用年数10年以上  
 で光電変換効率10.4%以上が必要

**【普及・展開方針】**  
 温室遮光資材としての適用。  
 遮光を必要とする施設花卉栽培を中心に普及する。  
 光電変換効率の向上に伴って施設野菜栽培に展開。

**【技術課題】**  
 光透過型P-OPVの光電変換効率の向上(10.4%以上: 89W相当)。  
 10年以上の耐久性、モジュールの低価格化。  
 光透過型ペロブスカイト太陽電池を用いたP-OPV資材による農電  
 併産の実証と耐久性評価。

**成果**

### 【実証試験温室】

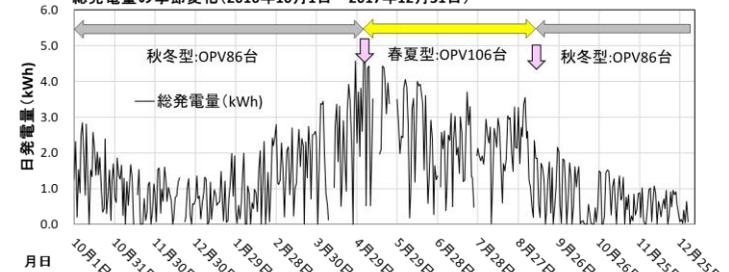


既存OPVパネル  
 (光電変換効率2.7%, 光透過率11.7%)

OPV設置試験温 対照試験温室

発電量の季節変化

総発電量の季節変化(2016年10月1日~2017年12月31日)



### 【成果の展開】

園芸施設: 40,000ha

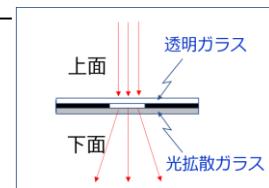
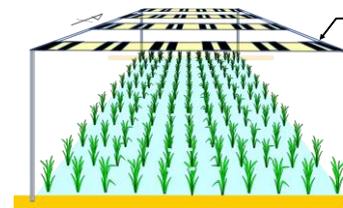
施設花卉栽培(6,500ha)

施設野菜栽培(30,000ha)



水田(1,470,000ha)

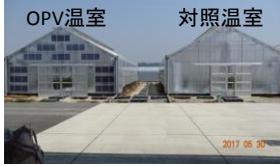
農業用光拡散透過型太陽電池



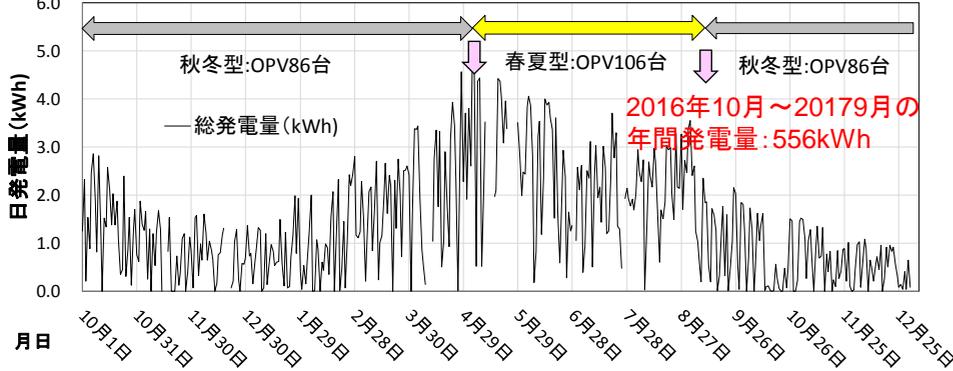
# ○参考資料

## (3) 農電併産実証試験研究の成果概要

### 実証試験温室とOPVの設置

	温室外観	側面	温室内部と南妻面
春・夏型設置例	 <p>OPV温室 対照温室</p>	 <p>北 南</p> <p>屋根面, 60台; 側面, 28台</p>	 <p>南妻面, 12台; 北妻面6台</p>
	 <p>対照試験温室内部</p>	 <p>屋根面OPV設置状況</p>	

総発電量の季節変化 (2016年10月1日～2017年12月31日)



### トマト栽培実証試験結果概要

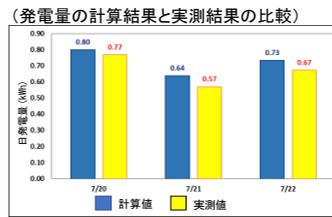
	2016年10月～2017年2月			2017年6月～8月			年間合計 果実新鮮重量 (g/株)
	果実新鮮重量 (g/株)	糖度 (Brix %)	酸度 (クエン酸 %)	果実新鮮重量 (g/株)	糖度 (Brix %)	酸度 (クエン酸 %)	
対照温室	4,963	4.9	1.1	3,975	5.0	1.1	8,938
OPV温室	4,293	4.8	1.1	3,753	4.7	1.0	8,046
OPV温室/対照温室	86.5%			94.4%			90.0%

## (4) 農電併産システム有効性評価研究成果の概要

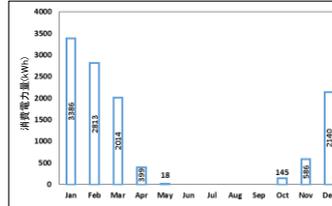
### LCA-GIS解析の全体フロー



(発電量の計算結果と実測結果の比較)



(加温エネルギー計算結果例)



### OPVおよび開発したP-OPVモジュール導入によるLC-CO2削減量(万t-CO2)

地域	OPVモジュール		P-OPVモジュール	
	冬春施設栽培	夏秋施設栽培	冬春施設栽培	夏秋栽培
北見	0.1	0.1	0.4	0.5
岩見沢	0.0	0.2	0.0	0.9
盛岡	0.1	0.6	0.1	1.9
長野	0.6	0.7	1.1	2.2
宇都宮	3.6	1.0	6.6	3.4
岡山	6.9	0.8	13.2	2.4
宮崎	1.6	0.1	2.9	0.2
那覇	0.1	0.0	0.3	0.0
全体	13.0	3.5	24.5	11.3

# CO<sub>2</sub>排出削減対策技術評価委員会による終了課題事後評価の結果

- 評価点 6.7点（10点満点中）
- 評価コメント

## [技術開発として優れている点]

- 光透過型ペロブスカイト型太陽電池の温室栽培への展開を実現し、開発目標を概ね達成し、実証試験で発生した劣化トラブルを解決した点は評価できる。

## [今後の課題]

- 耐久性やコスト等実用化にはまだ課題が存在するため、実用化に向けた計画を具体的にすることが必要である。
- 光透過率を前提に最適な光要求性を持つ作物を選択するなど、システム全体としての経済性の検討に努めること。

## [その他]

- 本技術は国際展開の可能性も認められるため、継続的な開発を期待する。