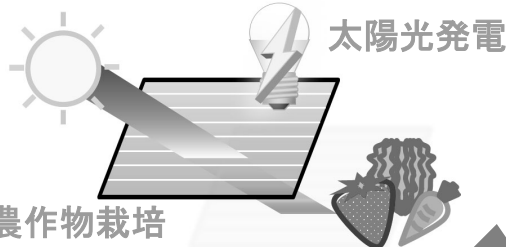


光透過型有機薄膜太陽電池による 農作物栽培と発電の両立

Solar Matching



実験の様子



諏訪東京理科大学

工学部 電気電子工学科 准教授 渡邊 康之



東京理科大学 総合研究院
先進農業エネルギー理工学研究部門



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



RIST TUS
Research Institute for Science & Technology

第1回 東京理科大学 総合研究院
先進農業エネルギー理工学研究部門シンポジウム

「光合成の原理から考える先進農業とIoT技術」

東京理科大学 総合研究院 先進農業エネルギー理工学研究部門の研究成果や活動状況を、各省庁（経済産業省、農林水産省等々）や関連企業に発信すると共に、これまでに参加した展示会（次世代農業EXPO、アグリビジネス創出フェア等々）において交流（一部は共同研究推進中）のあった方々を本シンポジウムにお招きし、今後の農業に在り方について各々異なった立場からご発表いただきます。多くの皆様のご来場をお待ちしております。

日時：2017年3月28日(火)13:00~18:00

場所：神楽坂 森戸記念館

【プログラム】

- 13:00~13:05 開催挨拶 (司会) 先進農業エネルギー理工学研究部門長 渡邊康之
- 13:05~13:50 「光合成測定と植物工場 (仮)」
東京大学 矢守 航
- 13:50~14:35 「太陽光利用型植物工場、グランパドームの取り組み (仮)」
株式会社グランパ 阿部 隆昭
- 14:35~15:20 「光合成促進機能を有する有機薄膜太陽電池の開発 (仮)」
諏訪東京理科大学 渡邊 康之
- 15:20~15:30 休憩
- 15:30~16:15 「グリーンファームテクニカルシステムズでの施設園芸技術 (仮)」
株式会社グリーンファームテクニカルシステムズ 下河原浩介
- 16:15~17:00 「八ヶ岳中央農業実践大学校での農業IoT導入」
諏訪東京理科大学 松江 英明
- 17:00~17:45 「植物の生き様と食料・環境・エネルギー問題 (仮)」
東京理科大学 朽津 和幸
- 17:45~17:50 閉会挨拶
東京理科大学 農理工学際連携コース コース長 朽津 和幸

参加費：無料

お問い合わせ：渡邊 康之 / 諏訪東京理科大学
<watanbey@rs.tus.ac.jp>

主催：東京理科大学 総合研究院 先進農業エネルギー理工学研究部門
後援：東京理科大学 重点課題特別研究 農水・食品分野
東京理科大学 大学院理工学研究科 農理工学際連携コース

“自立型農業”の実現

- 農地実証実験
- 植物生理学的検討

農学

Solar Matching



理学

工学

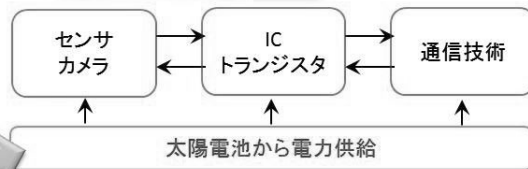
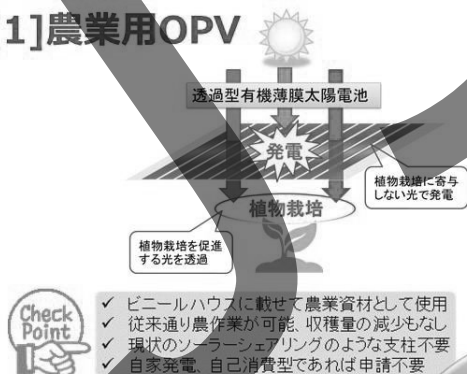
- 発電効率の向上
- 吸収波長・透過波長の最適化

- 製造プロセスの低コスト化
- 耐久性評価,各種センシング技術

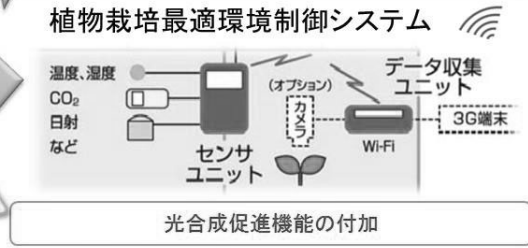
次世代のエース : Agri-Care Electronics

[1] 農業用OPV

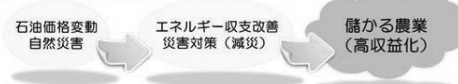
[2] 自己発電蓄電型農業センサー



シースルーOPVを用いた農作物栽培実験風景
(諏訪東京理科大学キャンパス内)



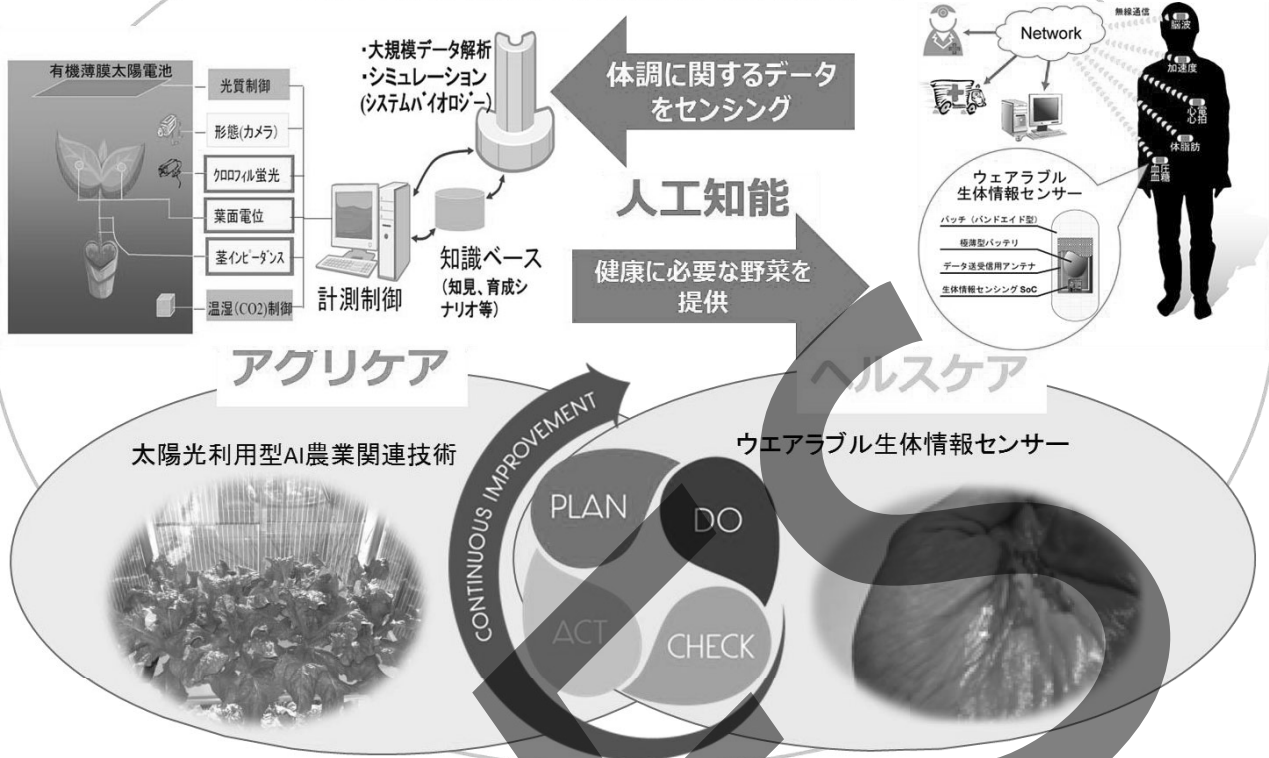
目指すべき将来像



健康長寿に向けたAI社会を支える環境・エネルギー技術開発

健康長寿、日本一！ 長野県から世界に発信する技術開発

その日の体調に合わせた食生活をサポートする



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学

"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics

先進農業エネルギー理工学研究部門

■ 東京理科大学

- ・ 朽津和幸 教授 (植物生理学)
- ・ 鞆達也 教授 (光合成)
- ・ 杉山陸 准教授 (太陽電池、農業用センサー)

■ 諏訪東京理科大学

- ・ 渡邊康之 准教授
- ・ 大橋昇 研究員 (有機薄膜太陽電池、植物栽培)
- ・ 松江英明 教授 (通信・ネットワーク工学)
- ・ 山口一弘 助教 (画像・信号処理)
- ・ 松岡隆志 教授 (量子情報理論)
- ・ 平尾毅 准教授 (製品開発戦略・イノベーションマネジメント)

■ 八ヶ岳中央農業実践大学校

- ・ 奥 久司 客員研究員 (実践農業)

■ 九州大 安達千波矢 研究室 (有機光エレクトロニクス)

- ・ 中野谷一 准教授 (農業用有機EL照明)

計) 11名

科学技術として世の中に役立つ
モノづくりをしながら、基礎研究
をする組織運営

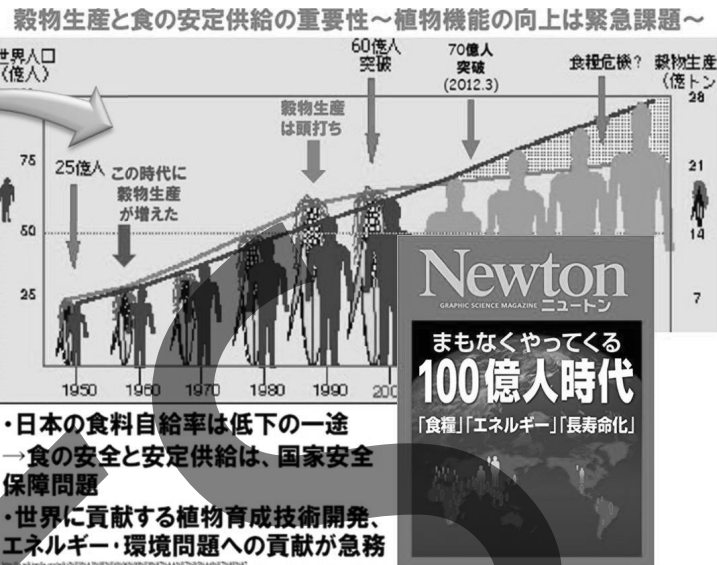
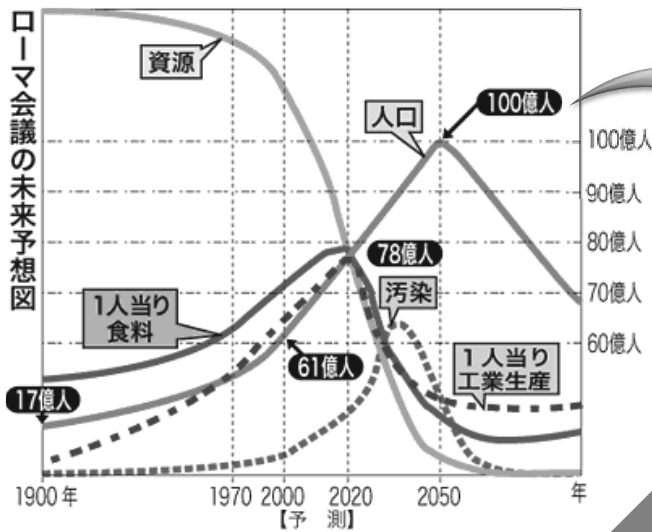
学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学

"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics

Motivation

【100億人時代に向けた課題】

2050年・・・人口爆発、エネルギー枯渇、食糧不足 etc



【解決策】

エネルギーと食料生産を向上させる技術開発

学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学

"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics

新たな市場開拓に向けて

太陽電池市場の「今まで」と「これから」



<今まで(無機系)>

- ・堅い
- ・重い
- ・透けない
- ⇒用途に限界

<これから(有機系)>

- ・柔らかい
- ・軽い
- ・シースルー
- ⇒用途の拡大 (垂直面展開、曲面展開)



太陽電池は常に新たな用途・市場で展開!

2015年～

建材への展開



2011年

1994年
メガソーラー
屋根に搭載

1976年

ソーラー電卓

農業への展開



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学

"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics

農地での太陽光発電ポテンシャル

NEDO 再生可能エネルギー技術白書

第2章 太陽光発電

建物発電の次は農地発電？ (ビニールハウスの曲面展開)

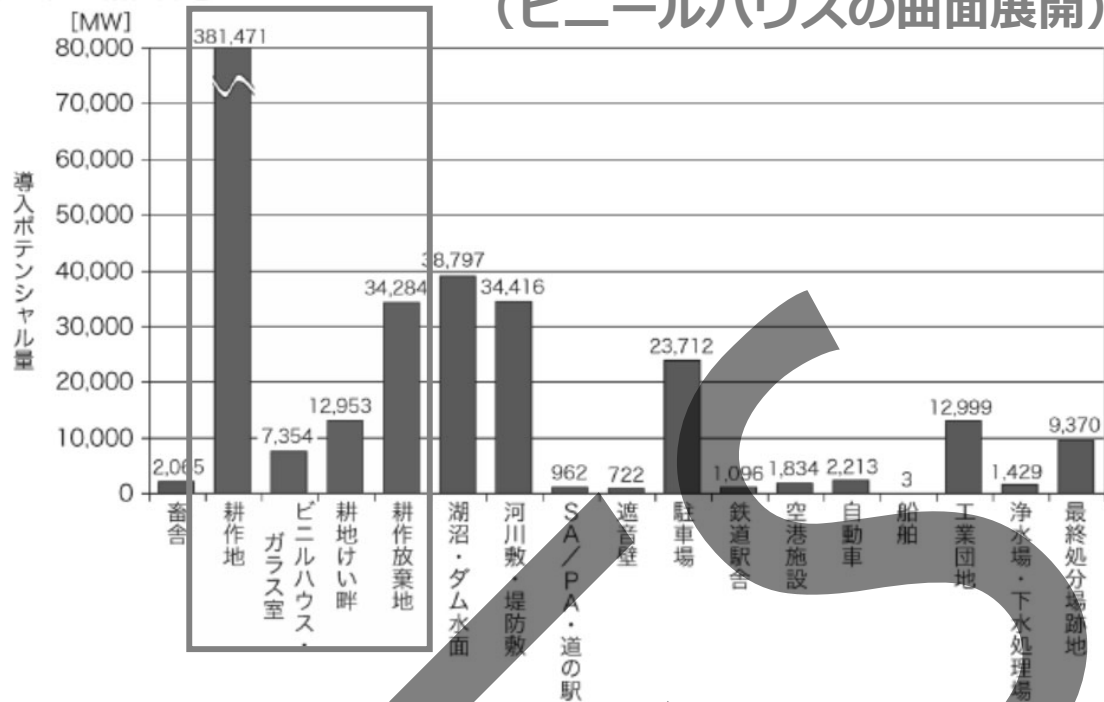


図 2-29 建物以外の導入ポテンシャル

出典：みずほ情報総研編，太陽光発電における新市場拡大等に関する検討（2013，NEDO）

農地で電気を作るメリット

メリット

経済貢献

- 農業者の収入増加
- コスト削減（燃料費低減）
- 農産物の付加価値向上 等

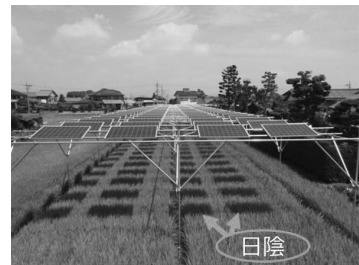
機能貢献

- 災害時の電力供給
- 温室効果ガス排出削減 等

背景

法律の整備

「農林漁業の健全な発展と調和のとれた再生可能エネルギー電気の発電の促進に関する法律（農山漁村再生可能エネルギー法）」が平成26年5月1日に施行されました。



従来のソーラーシェアリング技術

農地に支柱を立てて上部空間に太陽光発電設備等を設置し、農業と発電事業を同時に行うことを意味し、農水省では、「営農型発電設備」といいます。

(参考) 農林水産省「農山漁村における再生可能エネルギー発電をめぐる情勢」平成27年11月

農地への太陽光パネル設置条件

「農地への太陽光パネル設置、農業継続なら許可」

農水省が発表(平成25年3月31日)

- ✓ 容易に撤去可能な簡易な構造であること
- ✓ 収穫量が2割以上減少していないこと
- ✓ 品質が著しく低下していないこと
- ✓ 農業委員会が監視していること

そもそも、従来の太陽電池で実現できるのか？
⇒有機薄膜太陽電池で解決！（実証済）



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics

研究目的・目標及び期待されるシナジー効果



【目的】強い農業を実現！
・TPP問題解決
・地方創生

【背景】 2100年問題（世界情勢：人口爆発⇔日本：少子高齢化）
 農業問題（零細経営が多数、農業の生産性が低下、農産物が割高）
 次世代農業への障壁（農業への参入障壁の高さ、制度上の問題等）

先行研究と本研究の決定的な違い：農作物に必要な光（青・赤）は透過、不要な光（緑）で発電

従来技術：ソーラーシェアリング

本技術：ソーラーマッチング

農作物に影響を与えずに太陽光発電

【先行研究での課題】

日陰による農作物の収量減

- (シリコン等無機太陽電池)
- ・支柱など初期投資が必要
- 農水省への許可必要
- ・農作業に若干の不便さ

従来の課題を解決

太陽光を空間で分け合う



【本研究の優位性】

農作物に与える影響なし

- (シースルー有機薄膜太陽電池)
- ・ビニールハウスに設置可能
- ・支柱不要→農水省への許可不要
- ・農作業への不便さ解消

太陽光を波長(色)で分け合う



透過型有機薄膜太陽電池

発電

植物栽培

植物栽培に寄与しない光で発電

植物栽培を促進する光を透過

農地に対して100%設置可能なため、
トータルの発電量は
従来のソーラーシェアリングを上回る！

コスト試算項目	単位	従来技術 ソーラーシェアリング	本技術 ソーラーマッチング
太陽電池		多結晶シリコン	有機薄膜
発電効率		13%	5~7%
太陽光発電面積		30%	100%
年間発電量	kWh/反 (kWh/m ²)	46,586 (47.0)	59,725 (60.2)

ソーラーマッチングをコア技術とした研究開発戦略

- 1) 農業とエネルギー創出を両立できる技術の開発
- 2) 最適な植物の生育環境を科学的に検証する仕組み
- 3) 最適な作物保管環境と物流の開発



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



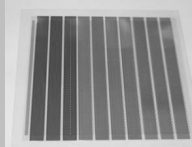
透過型有機薄膜太陽電池と植物栽培

将来を期待される
次世代型太陽電池

なぜ透過型OPVを組み合わせるの？
メリットはあるの？

透過型OPVの特徴

- ・フレキシブル
- ・量産性がある(印刷技術)
=低コスト
- ・光を透過(植物栽培)
- ・カラフルである



植物工場でのデメリット

- ・空調
- ・照明
- ・温度
- ・湿度
- ・水温

維持するために
電力費が膨大

植物栽培+発電

透過光を植物栽培に、残りを発電に利用



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



農業用OPV開発に向けた国内外の状況

波長選択型での発電と農作物栽培を実証例はない

Energy &
Environmental
Science



PAPER

View Article Online
View Journal | View Issue



Cite this: *Energy Environ. Sci.*, 2015, 8, 1317

Organic photovoltaic greenhouses: a unique application for semi-transparent PV?†

Christopher J. M. Emmott,^{†*ab} Jason A. Röhr,^{†ac} Mariano Campoy-Quiles,^d Thomas Kirchartz,^{ef} Antonio Urbina,^{ag} Nicholas J. Ekins-Daukes^g and Jenny Nelson^{ab}



環境省
Ministry of the Environment

CO₂排出削減対策強化誘導型
技術開発・実証事業

再生可能エネルギー・自立分散型エネルギー低炭素化技術開発分野

京都大学 H27~29年度

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



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics

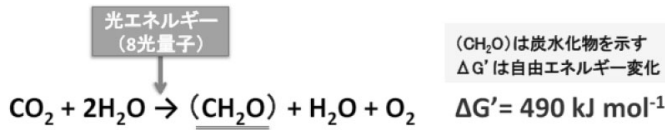


光合成のエネルギー変換効率

光合成の最大光エネルギー変換効率

太陽光放射下でのエネルギー変換効率

通常の緑葉では、約8個の光量子の吸収によって4個の電子が光化学系IIからIへと流れ、2個のNADPHおよび3~4個のATPが生成する



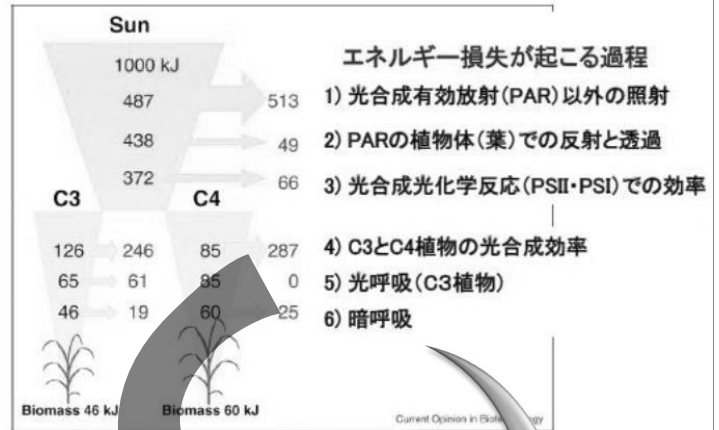
$$\text{光合成効率 (\%)} = \frac{\text{CH}_2\text{Oのエネルギー}}{\text{8光量子分の光エネルギー}} \times 100$$

$$\text{光合成のエネルギー効率} = 490/1398 = 0.35 \text{ (35\%)}$$

最大でも35%程度 680 nmの光量子 (175 kJ mol⁻¹)

理想状態

- ◆ 赤色光(680 nm)
- ◆ 光の吸収率100%
- ◆ PSIIとPSIの励起アンバランスなし
- ◆ 弱光、光呼吸なし、暗呼吸なし



太陽光エネルギーの光合成変換効率

植物に照射される太陽光の全エネルギーを1,000 kJとすると、光合成の各段階で損失、最終的に固定される効率はC3植物では46kJ (4.6%)、C4植物では60 kJ (6.0%) (1)。しかし、これは太陽光下での最大効率であり、**実際の野外での変換効率はC3植物で1%程度(2)。**

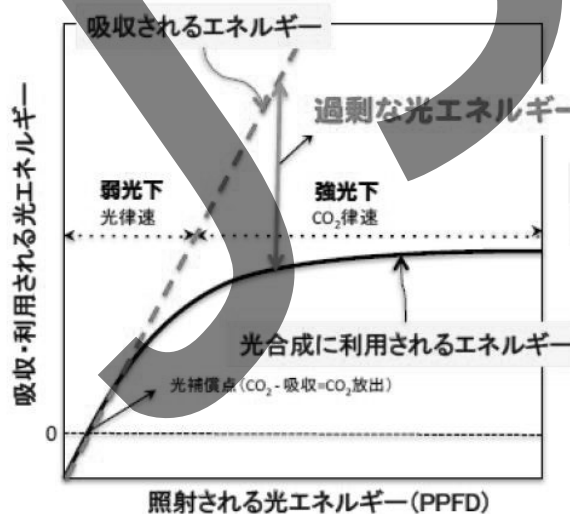
(1) Zhu et al. Current Opinion in Biotechnology 2008, 19: 153-159

(2) 園池公毅 最近の光合成研究の進展、太陽エネルギー 2011, 37:3-7.

過剰な光エネルギーは光障害を引き起こす



光合成に必要なのない光量を発電に利用



発電に利用可能

真夏晴天時の太陽光のPPFDは約2,000 μmol m⁻² s⁻¹

葉に吸収される光量子は約85% (1,700 μmol m⁻² s⁻¹)

CO₂固定に利用される光量子は
その約10% (170~200 μmol m⁻² s⁻¹)

残りは過剰光量子 (約1,500 μmol m⁻² s⁻¹)

- 照射される光エネルギーが増大すると、吸収されるエネルギーは直線的に増加
- 弱光下では光合成速度は直線的に増大、強光下では光合成に利用される光エネルギーは飽和
- 吸収される光エネルギーと利用される光エネルギーの差により過剰な光エネルギーが生ずる
- 強光下に長時間曝されると、過剰な光エネルギーが除去できずに光障害が生ずる

野外では最大光合成速度を安定維持できる状況はほとんどない



光合成に必要なのない光量を発電に利用

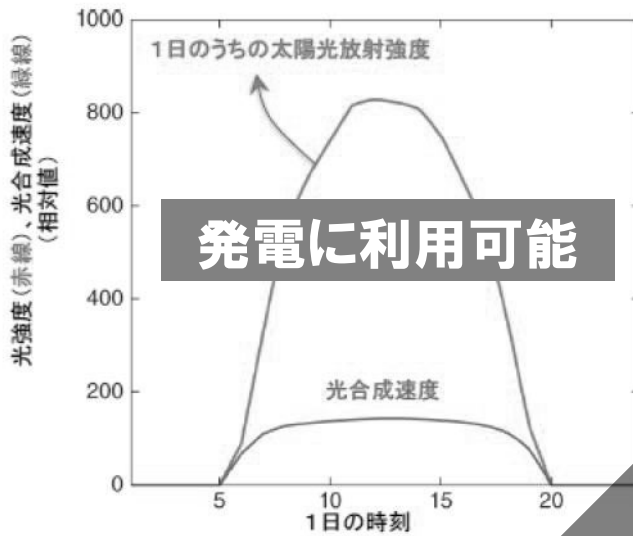


図: 晴天時の太陽光放射強度と光合成速度の日サイクル

Molecular Mechanisms of Photosynthesis, Second Edition. Robert E. Blankenship.
© 2014 Robert E. Blankenship. Published 2014 by John Wiley & Sons, Ltd.
Companion Website: www.wiley.com/go/blankenship/molecularphotosynthesis

- 光強度に応じて光合成速度が上昇するのは朝夕の僅かな時間のみ
- 1日の日照時間の90%以上は、光強度が飽和している
- 植物は強光下で生じた過剰な光エネルギーをわざわざエネルギーを使って散逸(熱放散)する
- 過剰エネルギーの散逸が滞ると、活性酸素が発生、光合成装置が損傷する(光障害)

光環境以外にも、乾燥、肥料、CO₂濃度、病害虫被害、高温、低温などの環境要因が光合成に影響する



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



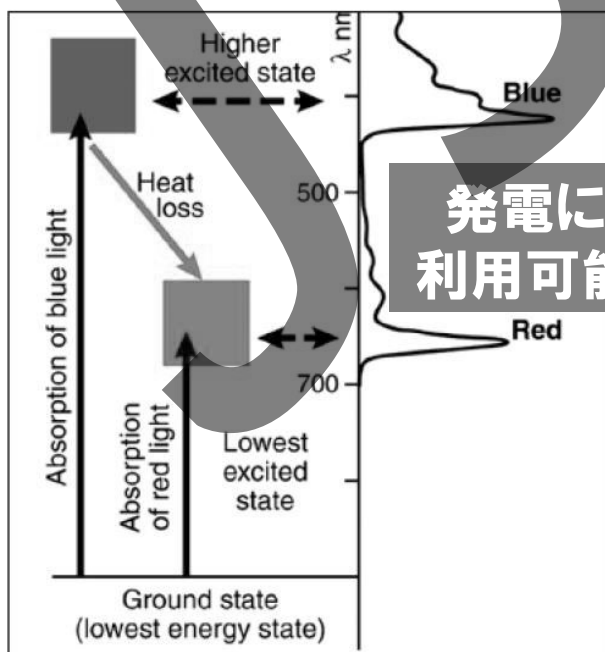
"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



クロロフィルの吸収スペクトルと励起エネルギーレベル



光合成にあまり寄与しない光の波長を発電に利用



発電に
利用可能

- クロロフィルが赤色光を吸収すると基底状態 (Ground state) の電子は第1励起状態 (Lowest excited state) に励起される
- エネルギーレベルの高い青色光をクロロフィルが吸収すると電子は第2励起状態 (Higher excited state) まで励起される
- 第2励起状態に励起された電子は、直ちにエネルギーを熱として失い、赤色光で励起される第1励起状態まで低下する
- 光合成の駆動(電荷分子)に必要なエネルギーは第1励起状態で十分、余分なエネルギーは熱として放出される(無駄になる)

Molecular Mechanisms of Photosynthesis, Second Edition. Robert E. Blankenship.
© 2014 Robert E. Blankenship. Published 2014 by John Wiley & Sons, Ltd.
Companion Website: www.wiley.com/go/blankenship/molecularphotosynthesis



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



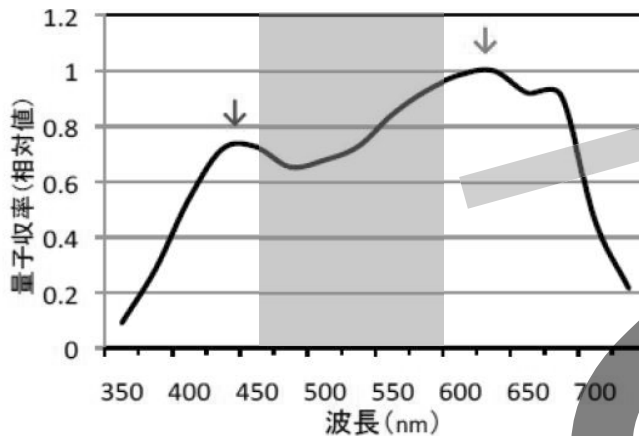
"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



光合成有効放射における量子収率



光合成にあまり寄与しない光の波長を発電に利用



**発電に
利用可能**

McCREE, K. J. (1972)を改変

The action spectrum, absorbance and quantum yield of photosynthesis in crop plants
Agric. Meteorol., (1972) 9:191-216

350~750 nmの波長範囲の単色光を用いて光合成量子収率を求めた。22品目の作物を野外とチャンバー内の種々の環境下で生育させた平均値を示した。量子収率は最大の625 nmの赤色光下での値を1として相対値で示した。

- 625 nm(↓)と440 nm(↓)に2つの山が出来る。
- 青色光領域ピークの平均的な高さは赤色光領域の70%、青色光領域で収率が減少する理由は、①光合成色素以外に物質(ポリフェノール)に青色光が吸収されるため、②NPQが増大(キサントフィルサイクル等が作動)するため、③クロロフィル第2励起状態から第1励起状態への熱放散、④フォトトリピンを介する葉の定位運動や葉緑体の光逃避運動が考えられる。
- 700 nm以上の遠赤色光で急激に低下はred drop現象と考えられる。



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



光透過型有機薄膜太陽電池の材料選択

カラフルな有機半導体材料



● 透過光で農作物の栽培が可能



シースルーなので隙間がなくても

✓ 太陽光発電

+

✓ 農作物の栽培

(実証試験済み)

が可能



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



無機半導体にはできない有機半導体の優位性

ソーラーシェアリング



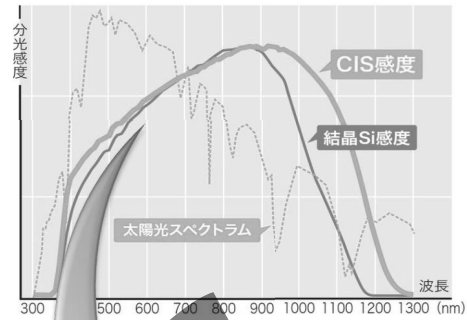
日陰による農作物の収量減

ソーラーマッチング

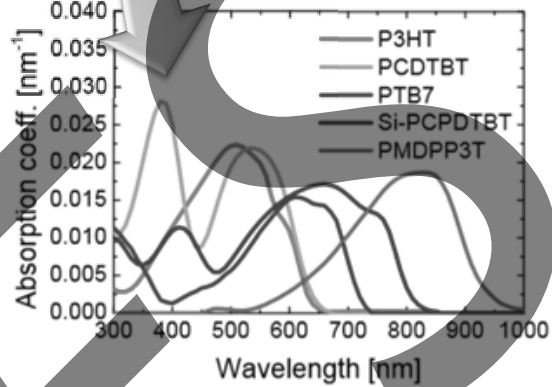


農作物に与える影響なし

光合成に必要な光を透過しない

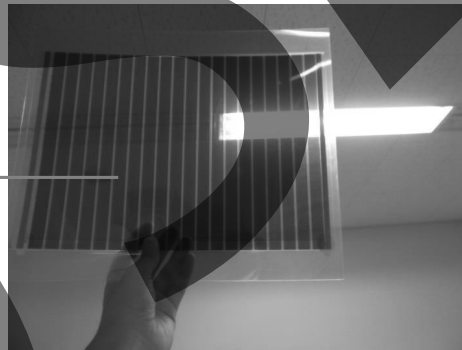


光合成に必要な光を透過する

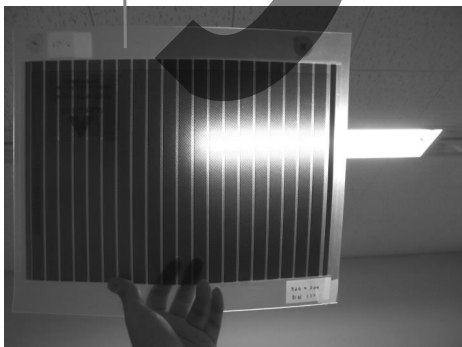


光透過型有機薄膜太陽電池の種類

MR-OPVの材料
PCBM/P3HT



ミディアムレッド(MR)



ダークレッド(DR)

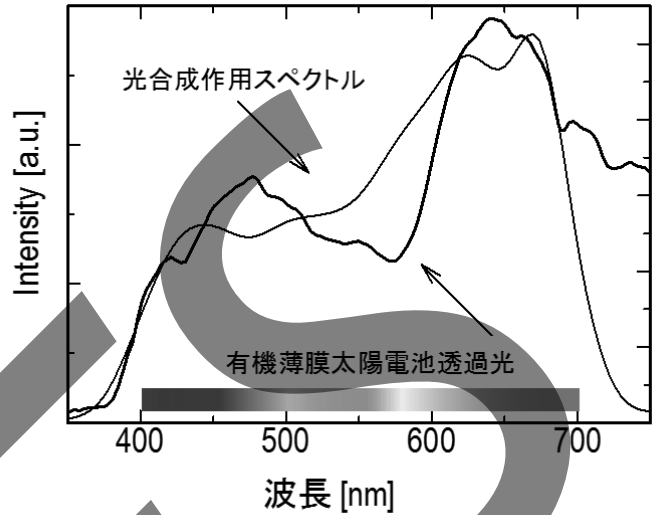
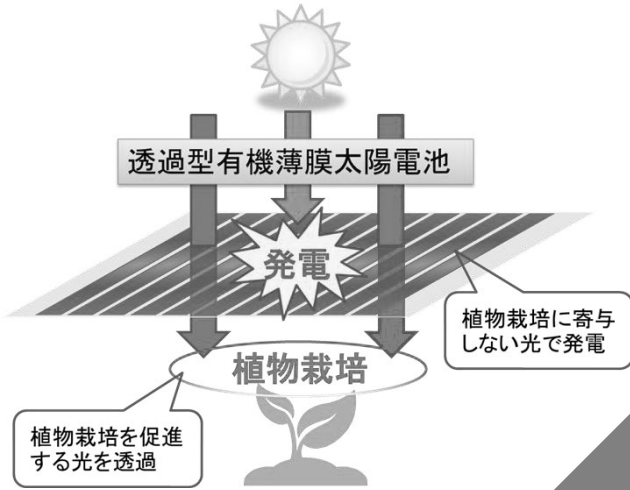


グリーン(GR)

光合成作用スペクトルと太陽電池透過光スペクトル



植物の光合成に必要な光を透過する太陽電池
= 農作物生産 + 電力
(ソーラーマッチング)



実証例①：ビニールハウス@屋外



実証例①：ビニールハウス@屋外

●目的：

ZEGHにおいて、KONARKA社製有機薄膜PVフィルム(OPV)を使用した場合、

通常ハウスと比較して、

以下2項目について、どのような差が出るか検証した。

①ハウス内の作物（ミニトマト）への影響

②ハウス内の温度湿度状況

●ハウスサイズ：実験ハウス2棟＋比較用通常ハウス1棟

各ハウス共通：18.5坪（61.2m²） 間口6.0m 奥行き10.2m

単棟POフィルム張り※

※PO＝農業用ポリオレフィン系特殊フィルム



学校法人 東京理科大学

諏訪東京理科大学



"PEACE" Project

Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



実証例①：ビニールハウス@屋外

●実験ハウス(Zero Energy Green House:ZEGH@高知県)

実験ハウス①（Gハウス）

KONARKA POWER PLASTIC 3040 Medium Green(OPV)被覆

実験ハウス②（Rハウス）

KONARKA POWER PLASTIC 3040 Medium Red(OPV)被覆

比較ハウス 天井：POフィルム1枚＋30%遮光フィルム1枚被覆

●作物： 川合肥料のうまトマト栽培有機肥料(Bag方式)で、
ミニトマト（ラブリーさくら）を栽培

●温湿度測定： 佐藤計量機製作所製データロガー/SK-L200TH2a



ZEGH外観



実験ハウス①(緑)



実験ハウス②(赤)



比較ハウス



学校法人 東京理科大学

諏訪東京理科大学



"PEACE" Project

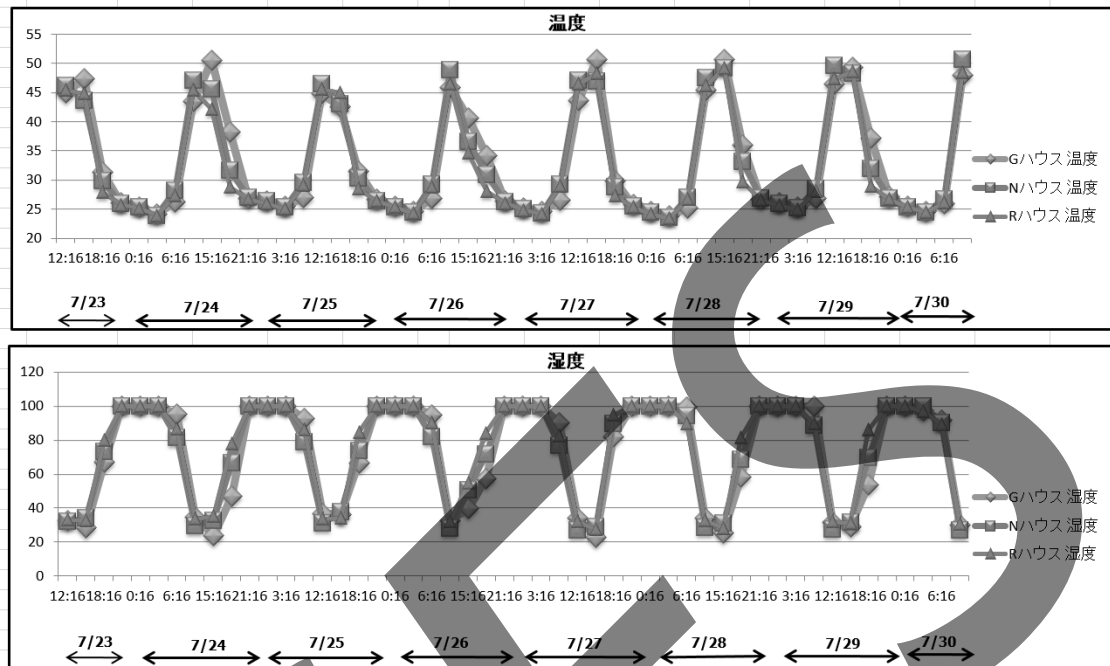
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



実証例①：ビニールハウス@屋外

◆温度湿度結果

・3時間毎に毎日自動測定。集計結果は、サーバーフォルダ内のグラフの通りであるが、温湿度ともに3ハウスで大きな違いは見られなかった。
 ※高温になり過ぎるため、前川種苗のアドバイスでNハウスには30%の遮光フィルムを設置。



学校法人 東京理科大学

諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics

実証例①：ビニールハウス@屋外

結果：従来の収穫量を実現

農地への太陽光パネル設置、農業継続なら許可
 農水省が発表(平成25年3月31日)



POINT

- ✓ ①容易に撤去可能な構造であること
- ✓ ②収穫量が2割以上減少していないこと
- ✓ ③品質が著しく低下していないこと



◆トマト収穫結果

比較ハウス(Nハウス) 2,595個
 実験ハウス(Gハウス) 2,015個
 実験ハウス(Rハウス) 2,386個(8%減)
 →農水省の条件をクリア!

そもそもビニールハウスで有機薄膜太陽電池を用いるのであれば、農業資材としての扱いになるので農水省への申請は必要ない

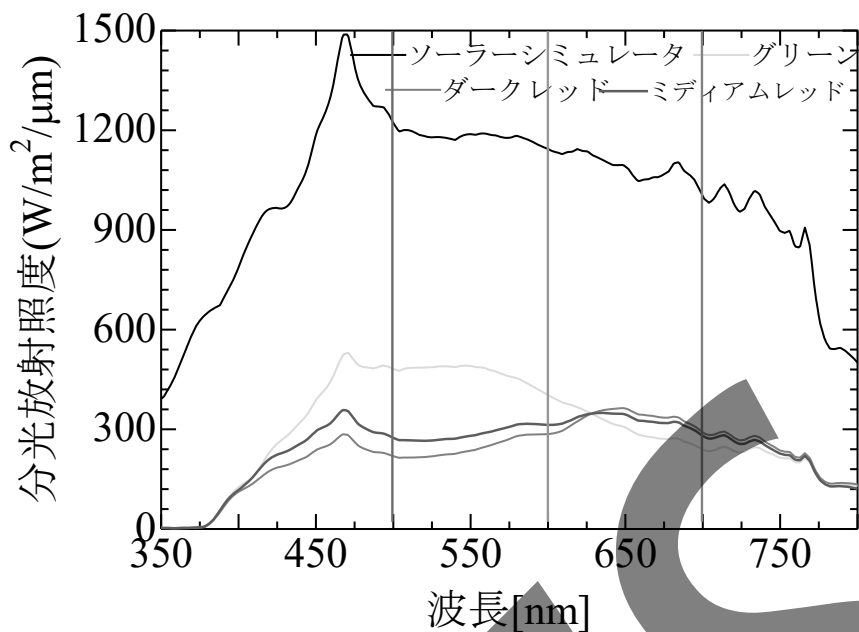
学校法人 東京理科大学

諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics

3種の透過型OPVの分光放射照度



	放射照度	光量子束密度	照度	R/B比
ソーラーシミュレータ	342.1	1571.5	85942.1	1.37
グリーンOPV	114.7	524.6	33006.6	1.21
ダークレッドOPV	79	375	18866.7	2.23
ミディアムレッドOPV	87.7	410	21599.4	1.78

W m⁻²

μmol m⁻² s⁻¹

lux



学校法人 東京理科大学

諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



実証例②：植物工場@屋内



学校法人 東京理科大学

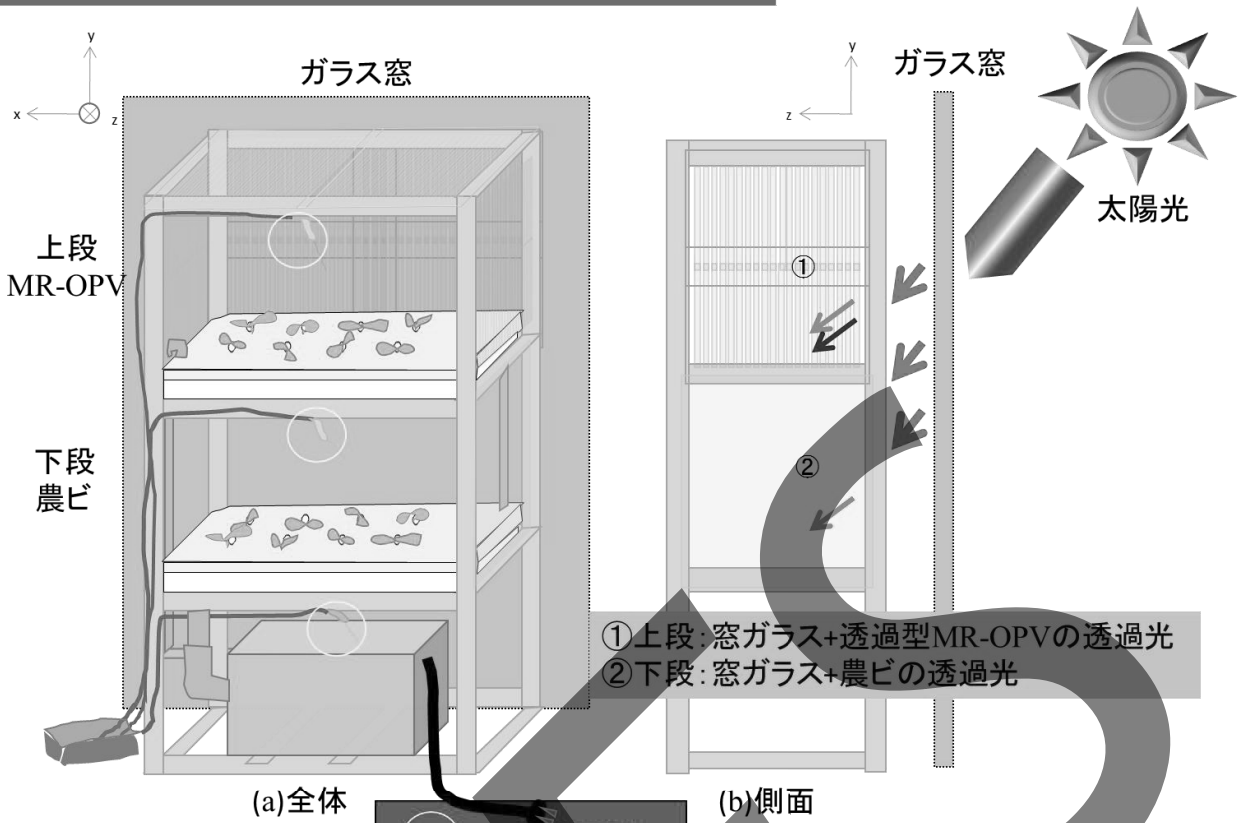
諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



屋内栽培概要図



学校法人 東京理科大学

諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics

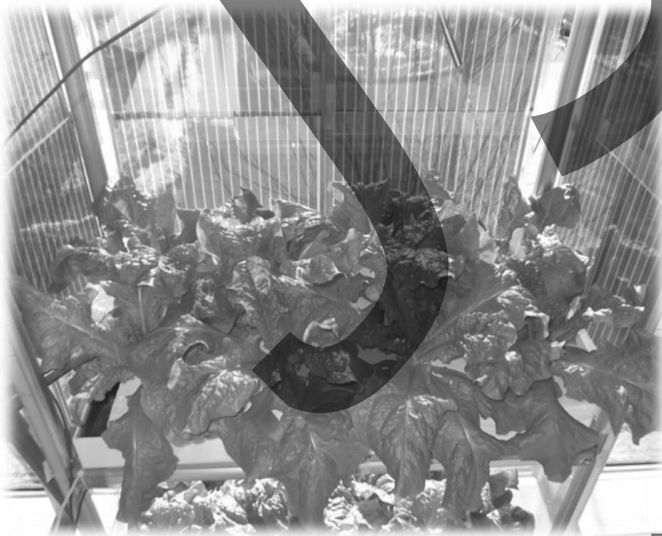


実証例②：植物工場@屋内

結果：従来の収穫量を実現

MR-OPVの透過光

農ビの透過光



OPVを用いた植物栽培において、通常の方法と比べて同量のサンチュを収穫



学校法人 東京理科大学

諏訪東京理科大学



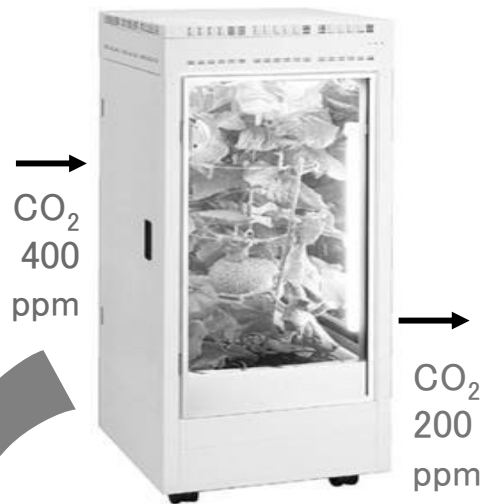
"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



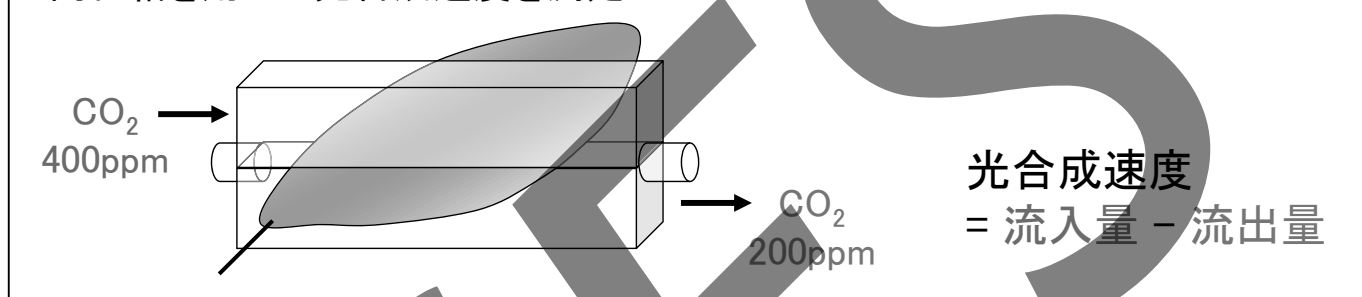
光合成速度による評価



Li-6400 (Li-COR)

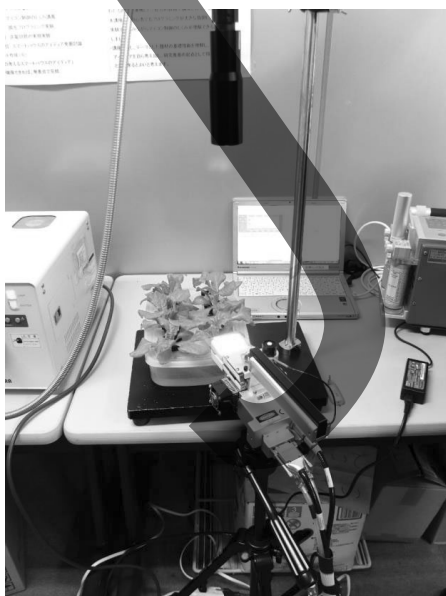


同化箱を用いて光合成速度を測定



疑似太陽光による光合成測定結果

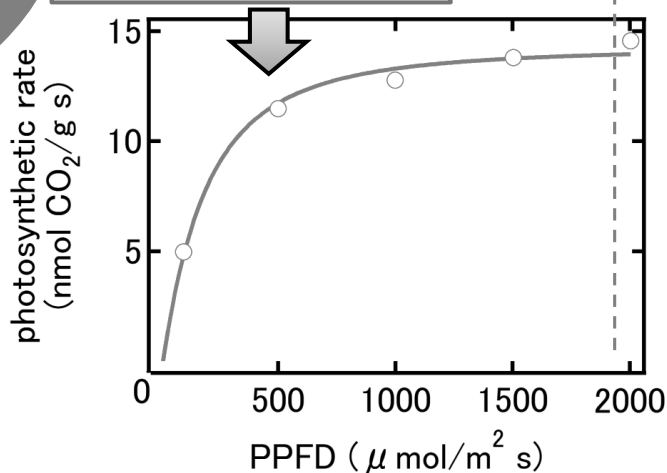
植物の光合成速度を太陽電池研究で使用する光源(ソーラーシミュレータ)で評価



サンチュ

光量1/4で
80%の光合成速度

快晴時



光-光合成曲線

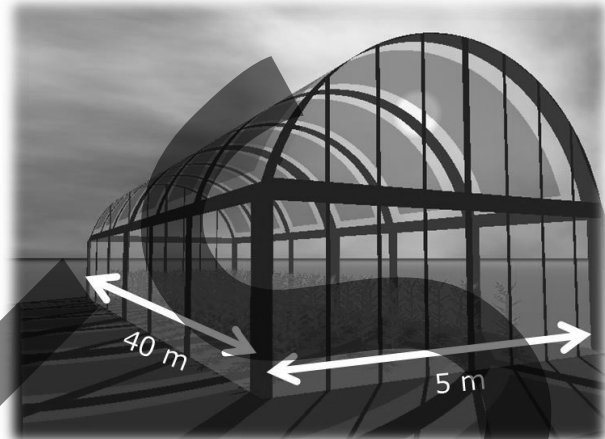
サンチュの光合成速度は快晴時の1/4で飽和する傾向

得られた電力で何ができるか？

ビニールハウスのモデル

- ビニールハウスの大きさは一定ではない
→大きさを仮定して計算を進める

- 縦 : 40 m
- 横 : 5 m
- アーチ長さ : 2.5π
- 天井面積 $\div 300 \text{ m}^2$



- 簡単のため、 300 m^2 に対して垂直に太陽光が降り注ぐと仮定する



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



得られた電力で何ができるか？

発電量試算

太陽光の日射量

□ 1日 : 3.3 kWh/m^2

OPVの性能

□ 発電効率 : 5%

□ 最大出力 : 50 W/m^2

- ビニールハウス全体の最大出力

$$50(\text{W/m}^2) \times 300(\text{m}^2) = \mathbf{15 \text{ kW}}$$

- 一日当たりの発電量

$$3.3(\text{kWh/m}^2) \times 300(\text{m}^2) \times 5(\%) \div \mathbf{50 \text{ kWh}}$$

一日あたりの発電量が50 kWhあれば
何ができるのだろうか？



学校法人 東京理科大学
諏訪東京理科大学



"PEACE" Project
Printed Electronics
& Agri-Care Electronics



想定される用途

1日当たりの発電量が農業に寄与するもの ハウス栽培用品と消費電力

項目	消費電力	補足	50 kWhで運転可能な時間
ハウス用ヒートポンプ	3.4 kW	7馬力	14時間
ハウス用除湿機	1.4~1.8 kW	2馬力	27時間
ハウス用循環扇	71~86 W	-	581時間
ハウス用送風機	260~360 W	-	139時間
ナノバブル	760 W	-	66時間

- 一年間の発電量は $50(\text{kWh}) \times 365 = 18000 \text{ kWh}$
- 電気代を1 kWhあたり20円とすると
 $18000 \text{ kWh} \times 20\text{円} = 36\text{万円}$
→一年間で36万円の節約が可能

まとめ

【目的】

有機薄膜太陽電池 (OPV)を用いた発電と農作物栽培の両立

【結果】

- 1) 緑色OPVとの比較した場合、赤色OPVに優位性
- 2) 屋外ビニールハウスにおいてトマト栽培を実証 (収量8%減)
- 3) 屋内植物工場においてサンチュ栽培を実証

【今後の課題】

- 収穫後の作物の乾物重量、成分分析
- ビニールハウス (曲面) での発電量解析
- OPVの発電効率の向上

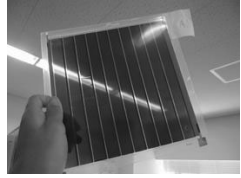
目指すべき将来像



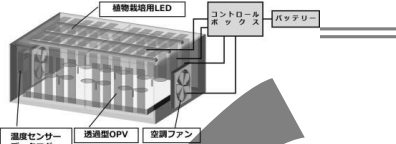
先進農業エネルギー理工学部門

「農学部」がないからこそ攻めの農業が可能！

OPVの作製・評価



千葉大学 環境健康フィールド科学センター
Center for Environment, Health and Field Sciences, Chiba University



ソーラーマッチングボックス開発

株式会社 グランパ

栽培実験（太陽光型植物工場）

OPVによる栽培



光合成促進シートによる栽培



栽培実験（圃場栽培）

高温や日射による障害



長野県農政部 & 農業試験場
信州農業を革新する
技術開発推進事業

地方創生



「東京理科大学、長万部町、事業コンソーシアムの連携による再生可能エネルギーを活用した先進的アグリビジネスプロジェクト」



グラント申請、展示会出展等々

University Research Administration Center

研究戦略・産学連携センター

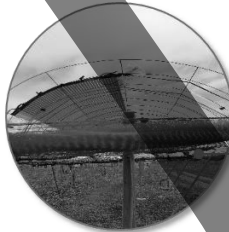
農業生産と両立できる光透過型有機薄膜太陽電池を基盤とした次世代農業技術の確立



おわりに：未来を拓くOPV



有機薄膜太陽電池(OPV)には、さまざまな場面での利用が可能です。光の「透過と吸収」のバランス制御により、未来の農業や環境を大きく変革するイノベーションを実現します



ぶどう栽培には、雨や強い日光を遮るため、簡単な雨よけやビニールハウス等が利用されます。光透過性OPVを雨よけとして利用し、ソーラーマッチングでぶどうの育成と発電を両立させます。

ぶどうの雨よけ栽培 (ソーラーマッチング)



室内のパソコンのモニターやテレビへの光の映り込みを避けるためのブラインドにOPVを利用します。外光を調節しながらスマートに省エネを実現する付加価値の高い空間を創造します。

窓で発電(垂直面)

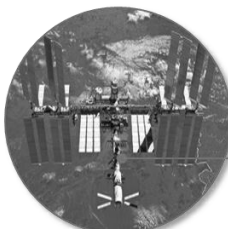
Solar Matching Boxで、OPV、照度や温度、CO₂等をモニターできる無線センサーとを組合せ、作物栽培・発電・栽培環境の遠隔制御を行います。これにより、天候や季節に左右されない高収益農業のモデル構築をめざします。

Solar Matching Box (ソーラーマッチング)



オランダ式農業にならった高軒高ハウスを使ったトマト栽培が広がっています。日光が好きなトマトのハウスでは、側面だけにOPVを設け、両面発電可能な特徴を活かし、日中は外光発電し、夜間は補光用の照明光で発電します。

Energy Design Greenhouse (垂直面)



宇宙や惑星で農業ができるようにするには、例えば「温室ドーム」等のドームをフィルムで覆い、植物の光合成に必要な光を通し、危険な宇宙線や紫外線などを弱める特性が求められています。光の透過を制御しながら発電するOPVは有効です

宇宙での利用

- 農工融合
- 健康長寿
- 省エネ
- 低環境負荷
- 宇宙科学

ご清聴有り難うございました

謝辞

- 2010年 諏訪東京理科大学「特色ある教育研究費」
2011年 長瀬産業 & Konarkaとの共同研究
2014年 東京理科大学「重点課題特別研究推進費」
2015年 長野県「農業生産と両立する太陽光発電装置の開発」
JST マッチングプランナープログラム「企業ニーズ解決試験」

の助成の支援を受けて得られた成果である。

【参考】ソーラーマッチングに関する発表

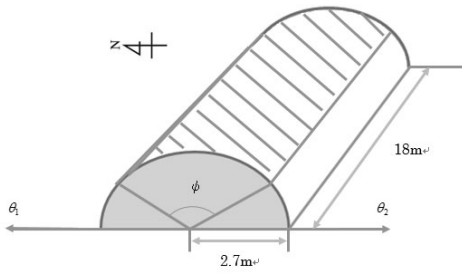
 日本太陽エネルギー学会 平成 28 年度日本太陽エネルギー学会・日本
風力エネルギー学会 合同研究発表会

- ① 24. ソーラーマッチングハウスにおけるフレキシブル太陽電池発電量推定の一考察
東京理科大学 成立洲, 谷内利明
- ② 95. 農業生産と発電を両立する光透過型フィルム状有機薄膜太陽電池
諏訪東京理科大学 ※渡邊康之, 大橋 昇, 小林 心
- ③ 96. 複合機能を有する有機薄膜太陽電池の出力評価及び透過光評価
諏訪東京理科大学 ※飯野太智, 沼津達也, 松岡佳吾, 平田陽一, 大橋 昇, 渡邊康之
- ④ 130. ソーラーマッチング発電システムにおける発電量推定のための基礎特性の把握
東京理科大学 ※細川和也, 谷内利明 諏訪東京理科大学 平田陽一, 渡邊康之
- ⑤ 131. 透過型太陽電池を利用した栽培、ソーラーマッチングの実証試験
諏訪東京理科大学 ※大橋 昇, 西澤 悟, 百瀬拓真, 桑野航平, 小林 心 渡邊康之

ソーラーマッキングハウスにおけるフレキシブル太陽電池発電量推定の一考察

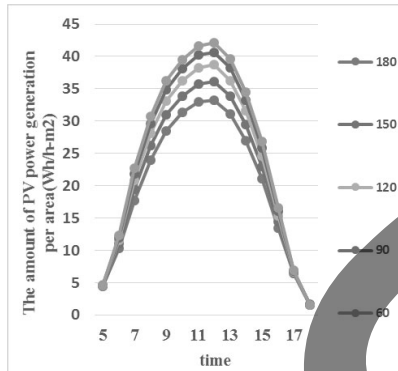
東京理科大学 成立洲, 谷内利明

農業生産性の向上を図るため、植物工場の技術が著しく進展している。太陽光利用型植物工場の一つとして、光合成に必要な青色光及び赤色光を植物の育成に用い、光合成に必要な緑色光を発電に用いるソーラーマッキングシステムが提案されている(1)。ソーラーマッキングハウスにおいて、エネルギーの効率的な運用を図るためには、屋根面・壁面に取り付けられるフレキシブル太陽電池の発電量を正確に推定することが必要である。しかし、太陽電池パネルを曲面状のソーラーマッキングハウスの屋根に設置した場合、その出力は曲面において分布を生じる。そこで、本研究では、曲面設置も含めて、ソーラーマッキングハウスにおける太陽光発電システムをモデル化し、その発電量推定法を考察した。

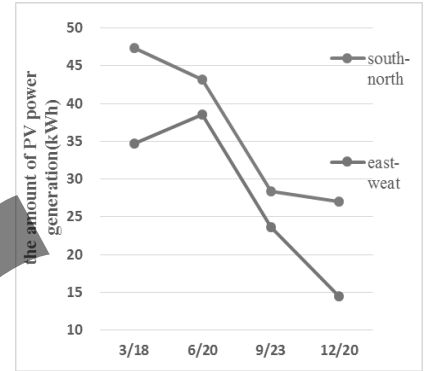


$$W_A = H_{Lave} \cdot A \cdot \eta + H_{Lrms} \cdot A \cdot \eta \cdot \alpha_W \cdot (T_{MA}(H_{Lrms}) - T_{STC})$$

(a) フレキシブル有機薄膜太陽電池を用いたソーラーマッキングハウスのシミュレーションモデル



(b) 太陽電池モジュール設置面積当たりの各設置面積における発電量(6月20日)



(c) 南北方位と東西方位にしたときの各季節の発電量

【まとめ】

- ソーラーマッキングハウスにフレキシブル太陽電池モジュールを設置した場合の発電量について、設置面積、設置方位依存性をシミュレーションで求め、以下の結果を得た。
- (1) フレキシブル太陽電池モジュール設置面積が $\psi=180^\circ$ では、 $\psi=60^\circ$ に比較して、年間で約2.5倍の発電が期待できる。特に冬季の発電量が設置面積に比例して約3倍となる。
 - (2) フレキシブル太陽電池モジュール設置面積の増加に伴って設置面積当たりの発電量は減少し、 $\psi=180^\circ$ では、 $\psi=60^\circ$ の約85%となる。なお、冬季の発電量は設置面積にあまり依存せず、約170Wh/(h-m2)となる。
 - (3) フレキシブル太陽電池モジュールは、南北方位に設置したときの方が年間を通じて、発電量が多く、特に冬季と春季は約1.9倍、および1.4倍と非常に多くなる。

- H_{Lave} : 設置方位平均日射量
- H_{Lrms} : アーチ型太陽電池モジュール日射量RMS値
- $T_{MA}(H_{Lrms})$: モジュール温度
- T_{STC} : 標準試験状態の太陽電池モジュール温度
- A : 太陽電池モジュールの面積
- η : 太陽電池モジュールの変換効率
- α_W : 太陽電池モジュールの発電量温度係数

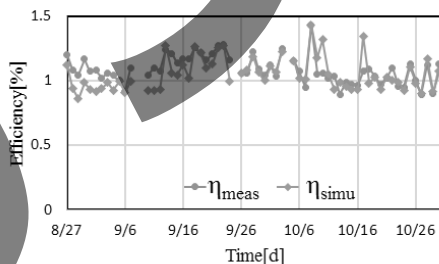
複合機能を有する有機薄膜太陽電池の出力評価及び透過光評価

諏訪東京理科大学 ※飯野太智, 沼津達也, 松岡佳吾, 平田陽一, 大橋昇, 渡邊康之

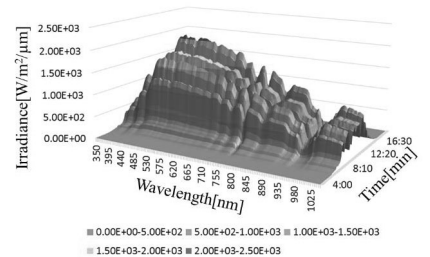
太陽電池は効率向上のため、入射光を閉じ込め裏面を封止している。そのため、発電される出力は向上するが、裏面側が日陰になる。光を透過するタイプの太陽電池を用いると、発電効率はそれだけ低下するが、裏面光をうまく利用できれば、裏面空間に複合利用する可能性が広がる。筆者らは、発電機能を備え、植物に適した光を透過するフィルム状透過型有機薄膜太陽電池の有効性を提唱している。太陽電池が光を透過することで、植物に適した赤と青の光を放射させることができ、発電効率の向上とは別の付加価値を持たせることができる。そこで、本研究では、その複合機能を持つ透過光型の有機薄膜太陽電池の発電量評価と透過光の評価をある期間行った。その結果、発電機能と植物に有効な光のスペクトル分布が放射されていることを確認した。



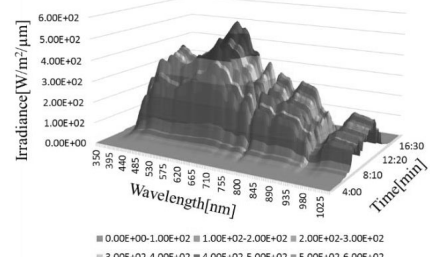
(a) 透過型有機薄膜太陽電池の発電特性及び入射光・透過光スペクトル測定風景



(b) 透過型有機薄膜太陽電池の日別積算変換効率の実験値とシミュレーション値



入射光スペクトル



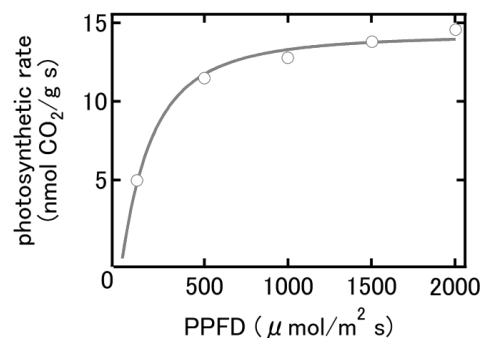
透過光スペクトル

(c) 有機薄膜太陽電池の入射光と透過光スペクトルの時間に対する変化

- (1) I-Vメータを使用し、屋外暴露状態の透過型有機薄膜太陽電池の日別積算変換効率の測定値 η_{meas} を求め、図8に示す。測定期間は2016/8/27~2016/10/31である。また、太陽光スペクトル分布の測定データから日別積算変換効率のシミュレーション値 η_{simu} も示した。シミュレーション値は、各日射強度による出力変換効率の特性を考慮して算出した。実測した透過型有機薄膜太陽電池の変換効率の値は、太陽光スペクトル分布の測定データからのシミュレーション値に追従する傾向がみられた。
- (2) 分光放射計を使用し、透過型有機薄膜太陽電池の入射光と透過光スペクトル分布を分析した。晴天日における有機薄膜太陽電池への入射光及び透過光のスペクトル分布の時刻別データを3次元グラフで示す。一日を通して緑色の波長域が吸収されていることが確認できる。
- (3) 本研究では、発電機能を備え、光を透過するフィルム状透過型有機薄膜太陽電池を用いて、その電気特性、透過光特性を分析した。その結果、発電機能が確認できるとともに、植物に有効な光のスペクトル分布が透過されていることが確認できた。

透過型太陽電池を利用した栽培、ソーラーマッチングの実証試験

諏訪東京理科大学 ※大橋 昇, 西澤 悟, 百瀬拓真, 桑野航平, 小林 心 渡邊康之



	With OPV	Without OPV
PPFD ($\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{s}$)	181	261
Crop yield (g)	15	18

(b) 植物光合成総合解析システムによる光合成速度測定(光源はソーラーシミュレータを用いた)

(c) 光強度に対する光合成速度測定結果

(a) 小型栽培機による有機薄膜太陽電池の透過光を利用した照度依存性試験

ここでは、小型水耕栽培機による照度依存性試験において、光合成速度の飽和を利用した植物栽培法について検証する。小型の水耕栽培器(UH-A01E1、ユーイング)にチマサンチュの苗を定植、株の半分にはOPV透過光を書写し、もう半分にはLED光源をそのまま照射した。液肥は大塚ハウス1号を200g/L、大塚ハウス2号を2.5g混ぜたものを使用した。このとき、pHは5.8、ECは1486であった。図2にチマサンチュの光合成速度と照射光との関係、植物光合成総合解析システム(LI-6400XT、メイワフォーシス)により測定した結果を示す。PPFD=2000 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{s}$ のときが晴天時におけるおおよその太陽光強度である。500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{s}$ の時点でほぼ光合成速度は飽和していることが分かる。これは光飽和点と呼ばれており、入射光は500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{s}$ 以上必要ないことが分かる。一方、500 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{s}$ 以下は光律速領域と呼ばれ、光強度に比例して光合成速度が直線的に増加する。使用したLED光源の光強度は261 $\mu\text{mol}/\text{m}^2 \text{s}$ であり、明らかに光律速領域である。表1に、得られた作物の乾燥重量と光強度の関係を示す。光強度31%減少に比べて、乾燥重量の減少は17%にとどまった。これは、OPVが植物栽培に必要なエネルギーのみ選択的に透過していることを示唆している。植物成長は個体差が大きいため追試が必要であるものの、OPV透過光による植物栽培“ソーラーマッチング”は研究室レベルでは可能であると言える。