

かずさ DNA 研究所シンポジウム
「農業と太陽光発電の両立に向けて」
-農業と工学のゲームチェンジングな出会い-



(浜松市細江町：太陽光パネル下でのデコポン栽培)

日時：2013年4月15日 13時～17時

場所：京都大学東京オフィス

(品川駅前、品川インターシティ A 棟 27 階)

主催：公益財団法人かずさ DNA 研究所

共催：京都大学産官学連携本部

プログラム

農地で太陽光発電が可能になると、日本の電力供給に大きく貢献できる。一方、低い食料自給率を考えれば、休耕地であっても農地として確保すべきとの考えもある。しかし、「農業と共存できる太陽光発電技術」が開発されると、状況は大きく変わり、農業振興に貢献できる可能性がある。

シンポジウムの前半では、従来の太陽光発電の常識（高い発電効率、高い耐久性の必要性）に囚われないゲームチェンジングな発想で、農作物栽培と共存できる太陽電池開発の可能性を議論します。後半では、農業と共存できる太陽光発電技術が農業の活性化や新産業の創出にどのように繋がるのかを議論します。

13:00-13:10 挨拶

13:10-13:40

-基調講演-

「有機太陽電池研究の現状と課題」

吉川 暉（京都大学エネルギー理工学研究所・特任教授）

13:40-14:10

-農学の立場から-

「農作物栽培と太陽光発電の両立」

柴田大輔（公益財団法人かずさDNA 研究所・研究部長）

14:10-14:40

-有機合成化学の立場から-

「有機材料の分子設計～農業に適した光吸収波長制御～」

若宮淳志（京都大学化学研究所・准教授）

14:40-15:00 休憩

15:00-15:30

-太陽電池工学の立場から-

「軽量、光透過性太陽電池パネルの開発」

宮坂 力（桐蔭横浜大学 大学院工学研究科・教授）

15:30-16:00

-環境経済学の立場から-

「農地を利用した太陽光発電－千載一遇のチャンスか？ マクロな視点から考える－」

川島博之（東京大学大学院農学生命科学研究科・准教授）

16:00-16:10 開会の挨拶

16:10-17:00 名刺交換会

有機太陽電池研究の現状と課題

吉川 暉（京都大学エネルギー理工学研究所）

これまでのシリコン系太陽電池は一般家庭の屋根やメガソーラなど定置固定型の発電を前提として開発が進められてきたが、農地での太陽光発電では、軽量・大面積・フレキシビリティなどこれまでとは違った特性を持つ有機太陽電池が次世代太陽電池として大いに期待される。

まず、有機太陽電池は、溶液キャスト法、印刷技術などのプロセスによって 30 円/Wp 以下という低コストで大面積モジュールを作製することが可能である。また、有機色素を光吸収層として用いることから、①エネルギーペイバックタイムが半年以下と大変短く、②資源的制約がなく、③分子設計に基づく多様な化合物合成が可能で、④それらを使ったタンデムセル作製も容易で、⑤ 10^5 cm^{-1} を超える高い吸光係数を示す有機分子も多く、 1μ 以下の薄膜で十分な光吸収が可能という特徴を有しており、⑥軽量・大面積・フレキシブルな太陽電池と言う特性を活かしてこれまでにない可搬性という特性を付与することにより、結晶シリコン太陽電池にはない用途が期待できる。現在、シリコン系は 90%以上のシェアを有するが、広大な農地を利用するとなると、将来は、その関係が逆転する可能性もある。

有機太陽電池の種類は大きく色素増感太陽電池 DSC と有機薄膜太陽電池 OPV に分類されるが、我が国がともに優れた研究成果を挙げてきた。既に、DSC では 12%を超える効率が報告されているが、OPV についても、2011 年秋の MRS シンポジウム（ボストン）での三菱化学の認証効率データー 10%越えの発表を皮切りに、我々を含む世界の 5 グループが 10%以上の効率を得ており、まさに OPV 大競争時代を迎えている。フィルム型 OPV の NEDO 実用化研究もスタートしており、設置面積はいくらでも確保できる農地の場合には、現在の効率でも十分に実用の域にあると云える。現在の効率目標はともに、15%であるが、将来的には、両者のよいところを生かした、ハイブリッドタイプに収斂していくものと考えられ、その理論効率もシリコンを超える 30%以上が期待される。

昨年、7 月には我が国初の固定電力買取制度 FIT がスタートし、普及が加速しているが、未だ、Si 系はコストが高く、安価な有機太陽電池が NEDO の PV2030 の目標である 7 円/kWh を早期に実現できる最有力候補である。また、数年のうちには、電力の発送電分離が実現する予定であり、「農電業」発足も近い。有機太陽電池はその要求に答える最先端太陽電池として期待されるものであり、今後、その多様性を生かした多様な用途展開にむけ、特に農業分野との連携が重要となろう。

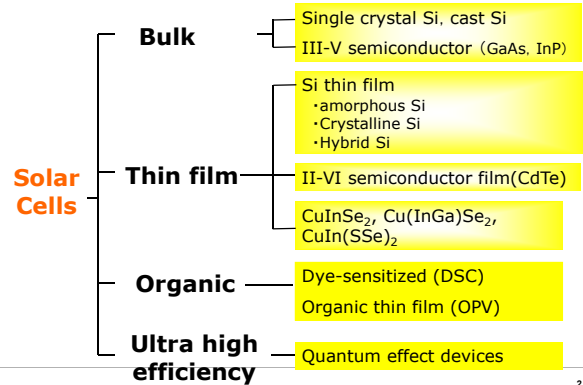
有機太陽電池は、比較的新しい太陽電池であるが、シリコン系に無い、多くの特徴を有しており、農地での発電用途として開発が進む可能性が高い。

有機太陽電池研究の現状と課題

New Energy Initiative

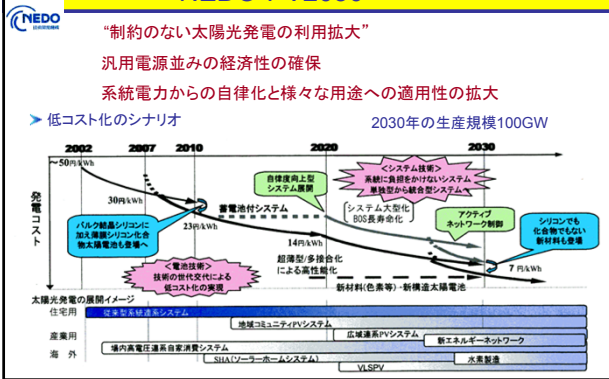
京都大学 エネルギー理工学研究所
吉川 遼

Photovoltaic Power Generation Technology



2030年に向けた太陽光発電の目指す姿

—NEDO-PV2030



PVと関連産業の比較

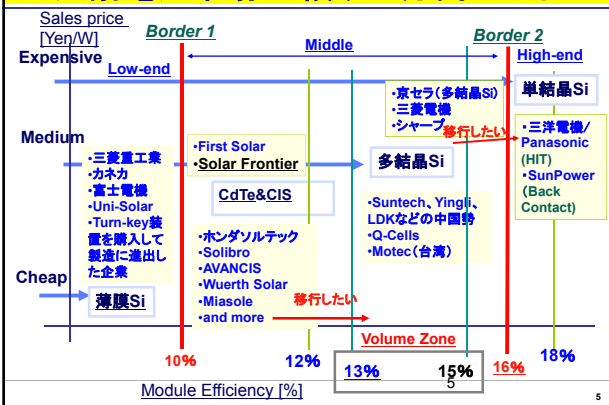
Market size

- 新しい産業としてのPV産業
現在の産業規模は約3兆円
将来は10兆円(5-10年以内)
- 液晶パネルの市場規模は約10兆円
- 半導体の産業規模は約30兆円

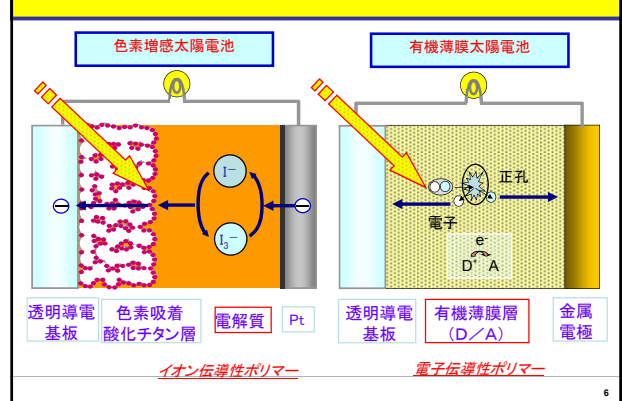
* 化石燃料(石油、石炭など)の市場規模は約400兆円

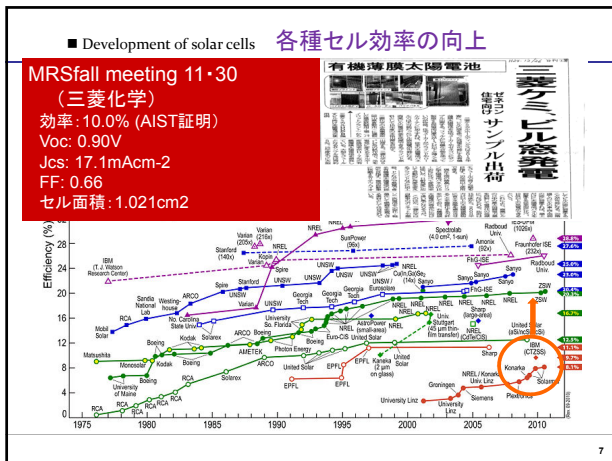
* 新エネ産業(RE、省エネ技術など)の市場規模は約100兆円

太陽電池市場: 3領域に分割できる



有機太陽電池の構造





有機薄膜太陽電池OPVの特徴

Target Eff.: 10%

- easy to fabricate
- light, flexible, printable
- versatile for design
- eco-friendly

Manufacturing process of white OLED panels using reel-to-reel gravure printing *IPS Bulletin*, 2008, 33, 663-669.

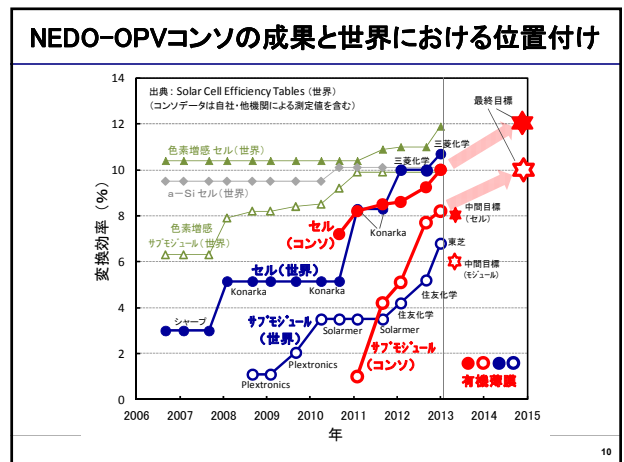
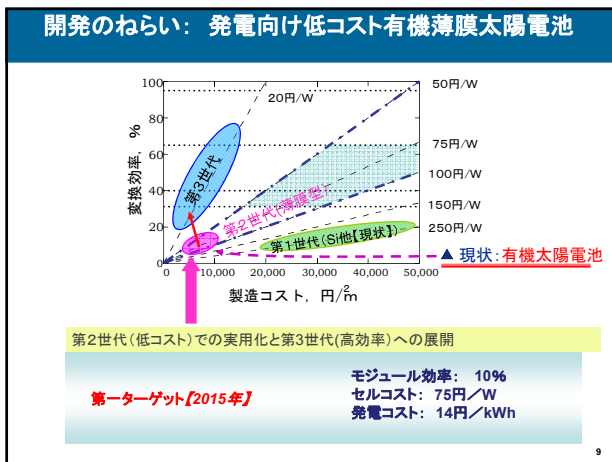
① Low Cost
 ② Light
 ③ Flexible
 ④ Eco-friendly

シリコン系太陽電池の5分の1以下で製造可能
 シリコン系太陽電池の100分の1以下の重量
 シリコン系太陽電池の100分の1以下の厚さで、
 可とう性の高い、大面積太陽電池が可能
 印刷可能で、いろいろな形状にできます。
 Energy payback timeは半年以下で最も環境に
 優しくIn, Cd, Te, Se など特殊な元素を含まない
 回収コストもかかりません。

Device structure of OPV

AI
TiOx
Active layer
PEDOT:PSS
ITO electrode

8



有機太陽電池研究コンソーシアムへの参加の呼びかけ

近年、地球環境保全や新規産業・雇用の創出などの観点から、再生可能エネルギー導入拡大の潮流が世界的に強まっており、昨年わが国で発生した大震災や原発事故によって、エネルギー安定供給への貢献に対する期待もあらためてクローズアップされている。

太陽電池分野では、従来のシリコン系太陽電池に加えて、次世代太陽電池の有力候補である有機太陽電池(OPV)の研究における変換効率向上には目を見張るものがあり、軽量・安価・大面積を活かした実用化にも大きな期待が寄せられている。OPVは特に農地への利用には優れた特性を有する。

OPV研究コンソーシアム設立の趣旨

有機薄膜太陽電池(OPV)研究の推進を目指す京都大学が中心となり、継続的に情報共有・情報交流活動を進め、シーズとニーズをマッチングし、オープンラボを設け、必要に応じ、適宜、共同研究・受託研究を実施し、プロジェクト提案等を行える体制の構築を目指すなど、当該分野の科学技術進歩に資する諸活動を展開することにより、当該分野の実用化を加速することとする。

事務局(申し込み・問い合わせ先)

京都大学 エネルギー理工学研究所 吉川研究室
 住所 611-0011 京都府宇治市五ヶ庄
 事務局 清水正文: TEL 0774-38-4957, FAX 0774-38-4951
 E-mail OPV2012@iae.kyoto-u.ac.jp

11



-農学の立場から-

農作物栽培と太陽光発電の両立

柴田大輔（公益財団法人かずさDNA研究所）

日本の農地面積 455 万ヘクタールの数%を太陽光発電に利用すれば総電力量の 3 割以上を供給することが可能である（大型メガソーラー約 4,000 基分相当）。一方で、エネルギー自給率の低い日本においては、休耕田であっても利用すべきではないとの考えもある。しかし、農林水産省は、本年 3 月 31 日付けで、かなり強い制限付きではあるが、農地での太陽光発電を認める通達を出した。つまり、農地での太陽光発電にむけて一步を踏み出したことになる。

「農地での発電と農作物の栽培は両立しない」との先入観で考えられていたが、これを覆す栽培方法が一部で実践されている。畑を太陽電池パネルで覆い、パネルの隙間を開けることによって透過してくる太陽光を利用して農作物を栽培する方法である。上記の農水省通達は、このような農法に関するものである。この農法は、「植物は必ずしも太陽エネルギーの全てを利用している訳ではなく、むしろ、太陽光は強すぎるために、一部のエネルギーしか利用していない」という植物生理学の知識に基づいている。実際、強光に弱い作物に関して、遮光による栽培が行われているので、余分な光エネルギーを発電に使うという考え方は理にかなっていない。しかし、多くの農作物（例えば、イネなど）では遮光は必要ではないので、その影響はあまり研究されておらず、発電と栽培を両立させるには科学的なデータの取得が重要である。従来の農学的評価方法だけでなく、大規模に生体成分を解析する技術（メタボローム解析）、網羅的な遺伝子発現解析技術（RNA-seq 解析）による精密なデータ取得が正確に評価するために重要となるだろう。

植物は可視光エネルギーの利用効率が波長によって異なっているので、利用効率の低い波長は太陽光発電に利用するというアイデアも考えられる。有機太陽電池は光透過性とすることも可能なので、新しい発想による太陽電池開発も進むであろう。

農作物栽培と太陽光発電が両立するのであれば、太陽電池開発の固定観念「耐久性とエネルギー変換効率の両方が高いことが絶対に必要である」は実質的な意味合いを失う。農地は膨大であり、エネルギー変換効率の低さは面積でカバーできる。有機太陽電池のように低価格で供給できるパネルが開発されれば、農業用フィルムがそうであるように、一年で更新しても問題はない。むしろ、シリコン系のように 10 年以上維持する必要がある場合は、新しい技術革新に対応できないので問題である。農地での太陽光発電を両立させるという試みは、今までの太陽電池開発の基本指針を根本から変えるゲームチェンジングな発想である。

謝辞：本講演では、科学技術振興機構「ALCA—先端的低炭素化技術開発プログラム」「コンビナトリアルバイオケミストリーによる太陽電池有機素材の開発」（研究代表者：柴田大輔）の支援で行った研究成果が含まれています。

農地で太陽光発電すれば

日本の全耕地面積(459万ヘクタール)の10%程度を太陽光発電に利用すれば、全電力量の3割程度を供給することが可能

(大型メガソーラー発電の~4000分に相当)

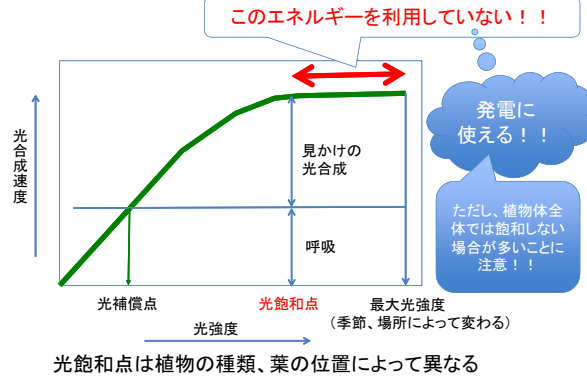


農地法の壁があり、農地を転用して発電することは(原則として)許可されない

農地法:
国民に対する食料の安定供給の確保を目的として、農地を農地以外に利用することを規制している。農地転用には農業委員会の許可が必要。

1

植物は太陽光エネルギーを全て利用している訳ではない



2

設置費用: 1500万円
売電収入: 250~300万円/年

デコポンでの実収入10万円/年



坪井貞美氏のデコポン畑 (静岡県浜松市北区細江町)。この地域はミカン産地として知られている。屋敷のように見えるのが太陽電池パネルである。畑は防鳥ネットが覆われ、土には防草シートをかぶせている。こうすることで減農薬の栽培が可能になるという。(撮影・筆者)

人にやさしい技術
デコポンソーラーシェアリング坪井
太陽で果樹と電力を栽培する

WEDGE 3月号、2013年

農地法は大丈夫??

農地法:
国民に対する食料の安定供給の確保を目的として、農地を農地以外に利用することを規制している。農地転用には農業委員会の許可が必要。

3

農林水産省は“条件付き”で農地での太陽光発電を許可

(平成25年3月31日)

24農振第2657号
平成25年3月31日

各地方農政局長
各都道府県知事
内閣府沖縄総合事務局長
全国農業会議所会長

(農林水産省) 農村振興局長

通達の主なポイント

- ✓ 農地法に従った一時転用許可が必要
- ✓ 一時転用は3年以内
- ✓ 容易に撤去可能な簡易な構造であること
- ✓ 収量が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

支柱を立てて従業を継続する太陽光発電設備等についての農地転用許可制度上の取扱いについて

近年、農地に支柱を立てて、従業を継続しながら上部空間に太陽光発電設備等の発電設備を設置する技術の開発が見られる。このような発電設備は、農地における従業の継続を前提とするものであり、営農に支障を与えないこと等が確保される必要がある。

このため、このような発電設備の設置に係る農地転用許可制度については、「農地法関係事務に係る処理基準について」(平成12年6月1日付け12農振第404号農林水産事務次官依命通知。以下「処理基準」という。)、農地法の運用について」(平成21年12月11日付け21農振第433号・21農振第1598号農林水産省経産局長・農村振興局長連名通知。以下「運用通知」という。))及び「農地法関係事務処理要領の制定について」(平成21年12月11日付け21農振第4608号・21農振第1599号農林水産省経産局長・農村振興局長連名通知。以下「事務処理要領」という。))の定めによるほか、下記事項に留意の上、その適切かつ円滑な運用について特段の御配慮をお願いする。

その他、優良農地の確保に支障を生じないことを前提とする耕作放棄地における取扱い等の在り方については、引き続き検討することとしている。

(農管内の市町村及び農業委員会に対しては農職から通知しない。)

4

農林水産省は全国で3地区をモデル地域として、支援制度の公募を4月から始める

効果の検証が必要との判断か?

農山漁村の再生可能エネルギーの潜在供給力は4250億キロワット時。総電力量の43%に相当。

日経新聞 平成25年3月25日(朝刊)

再生エネで農業振興
農水省が新支援制度 売電収益地元へ

農林水産省は24日、再生可能エネルギー(太陽光・風力)の発電収益を地元で活用する新たな支援制度を創設する方針を明らかにした。制度は4月から公募する。再生可能エネルギーの発電収益を地元で活用する新たな支援制度を創設する方針を明らかにした。制度は4月から公募する。

農水省は24日、再生可能エネルギー(太陽光・風力)の発電収益を地元で活用する新たな支援制度を創設する方針を明らかにした。制度は4月から公募する。

農水省は24日、再生可能エネルギー(太陽光・風力)の発電収益を地元で活用する新たな支援制度を創設する方針を明らかにした。制度は4月から公募する。

5

農業と太陽光発電を両立させるために、、、

◆栽培への影響を科学的に検証することが大切

植物の光への応答は複雑なので、単純な議論にはならない
(光が当たる葉と陰になる葉では応答が異なる)
(葉が重なっていることが多いので、光飽和点になかなか達しない)

- ✓ 収量 (光量によって大きく変わる)
- ✓ 成分(食味)
(光量によって遺伝子発現が異なるので成分も変わってくる)
(低光量のほうが食味などがよくなる可能性もある)
- ✓ 耐病性 (光量は耐病性に影響を与える)

ゲノム科学の手法(メタボロミクス)は、これらの評価に適している

注釈:メタボロミクス
遺伝子や成分を網羅的に解析する研究手法

6

農業と太陽光発電を両立させるために、、、

◆太陽電池導入コストの低減が必要

(シリコン系電池はペイバック期間が長く、リスクが大きい。一度、設置すると技術の進歩とは無関係に長期間の設置が必要)

そもそも、耐久性、発電効率は高ければいいのか？

シリコン系電池は、小さな屋根で100V、30Aの出力を出すことを前提としているので、15%の変換効率が少なくとも必要

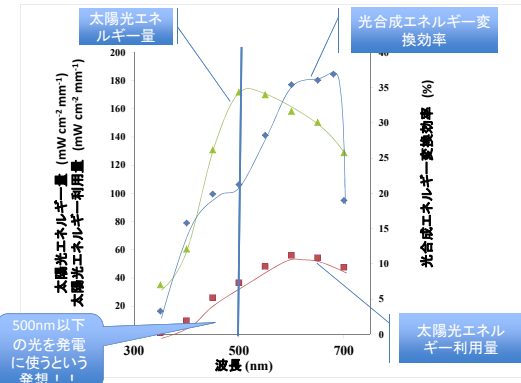
ゲームチェンジングな発想

- 効率が低くても、農地は膨大なので、面積で稼げる
- 耐久性がなくても農業用フィルムのように毎年交換すればいい
- 耐久性がない方が新しい技術の導入が早いのでむしろいい

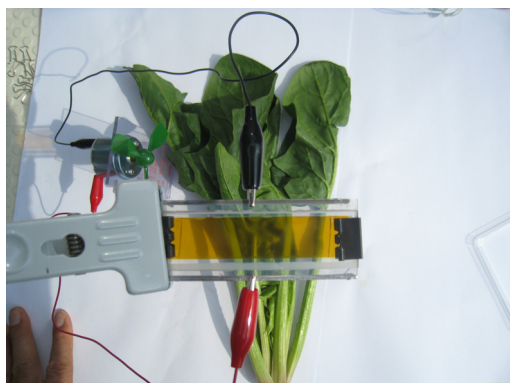
安価に供給できることが必須(有機太陽電池への期待)

7

光量制御だけでなく、波長選択による発電も考えられる



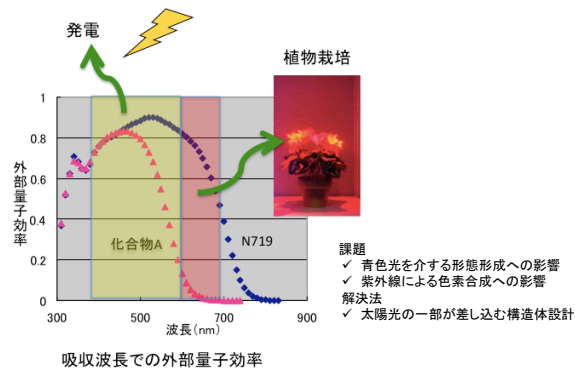
提供：三宅親弘准教授(神戸大学農学部) 8



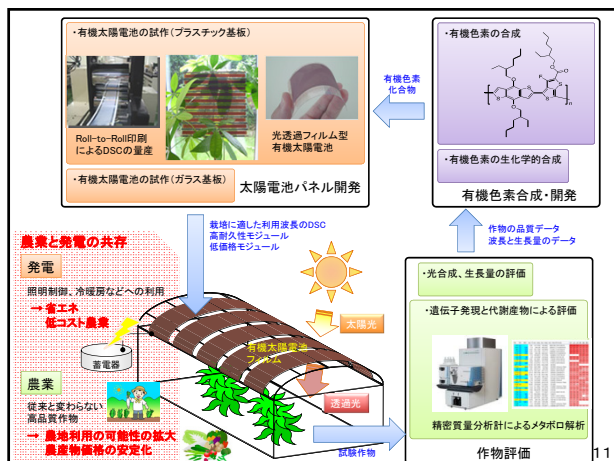
色素増感太陽電池は光透過性

9

波長制御による発電と栽培の両立のコンセプト



10



農地で太陽光発電を両立させることのインパクト

ゲームチェンジングな

“農地を使う”という発想での技術開発が進む

- ✓ 耐久性、変換効率はさておかない、むしろ、“安価な供給”が大切。
- ✓ 農業に比べれば、1000枚の太陽電池パネルの交換は容易な作業(ただし、軽量であることが望まれる)
- ✓ 発電したエネルギーを利用して、夏場は冷却、冬場は暖房する(省エネ農法、付加価値の高い農作物の生産)
- ✓ バッテリーと組み合わせて夜間照明に利用(菊などの日長制御)

売電により農家の収益が増す(経営安定化)

- ✓ TPP交渉参加により農業へのマイナスの影響が懸念されているが、政策的に農地での発電が導入されると影響を緩和できるかもしれない

しっかりとした政策が必要。そのためには、科学的検証と新たな技術開発が必須

気象条件に左右される太陽光発電の欠点を補う技術開発が必要(重くても大きいでもいいが安いバッテリーなど)

12

-有機合成化学の立場から-

「有機材料の分子設計～農業に適した光吸収波長制御～」

若宮淳志

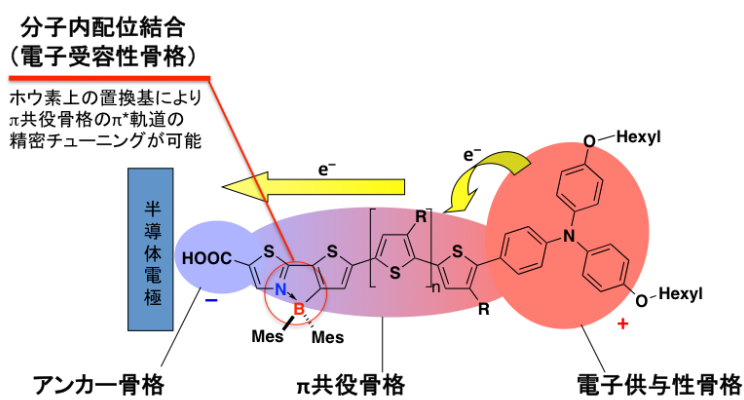
京都大学化学研究所

エネルギー問題は人類が克服すべき重要課題の一つである。再生可能資源に基づいたエネルギー生産技術の開発は、真に持続可能な文明を構築するためにも、科学者が真摯に取り組んでいくべき研究テーマの一つである。現在、シリコン太陽電池をはじめ、化合物型太陽電池などの無機材料を中心に太陽電池の実用化と社会への普及が進められている。これに対して、有機化合物を材料に用いた色素増感型太陽電池および有機薄膜太陽電池などの有機太陽電池は、低コスト、軽い、曲がる、光透過性をもたせることができるといった特徴をもち、次世代型の太陽電池として注目を集めている。近年、その光電変換効率は、色素増感型太陽電池で 12%、有機薄膜太陽電池でも 11%を越える効率が達成され、国内外で産学問わず、実用化に向けた開発研究が活発化している。

我々は、有機化学という立場から、光電変換効率の向上の鍵となる真に優れた有機材料の開発に取り組んできた¹⁾。分子設計をうまく工夫することで、光吸収波長や光透過性を自在に制御した有機材料を開発することができる。太陽光エネルギーの効率的な捕集という観点からは、近赤外領域も含めた可視光領域全域に広い吸収をもつ材料、すなわち「黒色」の有機材料開発が有効であろう。しかし、自然界で太陽光エネルギーをうまく利用している植物に目を向けると、ほとんどの植物の葉は「黒色」でなく、「緑色」である。これは、植物のクロロフィルが、太陽光スペクトルのうち最も大きなエネルギーをもつ 500–600 nm の領域の光をほとんど吸収しないという形で、光吸収特性をもつことに起因する。我々は、ここに農業と太陽光発電が両立できる可能性を見出すことができるのである。

本講演では、農業と太陽光発電の両立を可能にする有機材料開発という視点から、有機色素材料の光吸収波長制御について、我々の分子設計の考え方を中心に紹介する。

有機色素の分子設計コンセプト



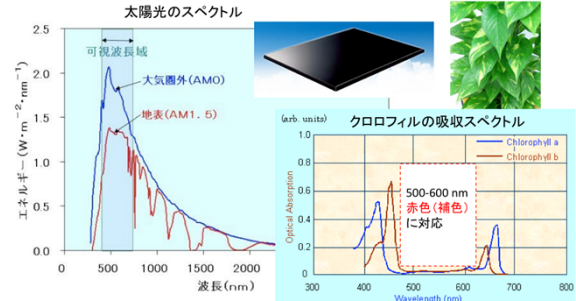
1) A. Wakamiya, T. Taniguchi, Y. Murata, J. T. J. Dy, H. Segawa, PCT/JP2012/56205(WO).

有機材料の分子設計 ～農業に適した光吸収波長制御～

若宮淳志
京都大学化学研究所
JST さきがけ「太陽光と光電変換機能」

太陽光エネルギーを効率的に捕集する

光吸収効率の向上: 近赤外領域を含めて可視光領域全域に幅広く広がる
吸収特性もつ有機色素をいかに創るか → 黒色色素
植物の葉は緑色: クロロフィルの吸収は500-600 nmの領域にない。



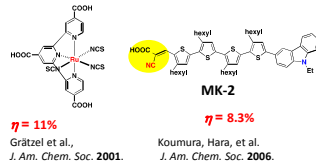
独自の分子設計から優れた色素材料開発に挑む

有機太陽電池開発の現状

有機薄膜太陽電池: 光電変換効率 $\eta \sim 11\%$

色素増感太陽電池:
光電極: 大きな表面積をもつTiO₂多孔質薄膜
酸化還元電解質: I⁻/I₃⁻/有機溶媒
光電変換効率 $\eta \sim 12\%$

増感色素の開発例



我々の研究アプローチ

高い光電変換効率を実現するための課題

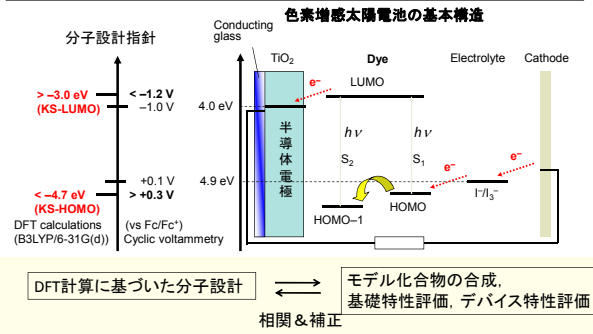
- 光吸収効率の向上
- 電荷分離効率の向上
- 電荷注入効率の向上
- 電荷再結合の抑制

分子内配位結合の形成による独自の電子構造修飾法
DFT計算を駆使したπ軌道の精密制御
これらを解決するための分子設計コンセプトの提案

真に優れた増感色素の開発
色素増感太陽電池の実用化

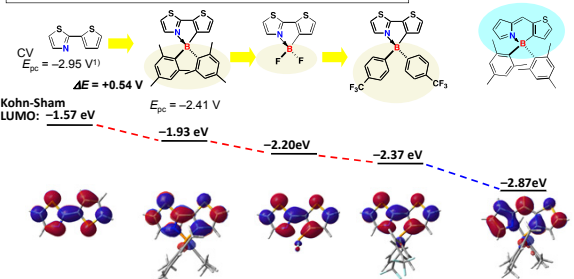
有機色素に求められる特性と分子設計指針

分子設計の鍵: いかにHOMO,LUMOエネルギー準位を精密に制御するか



分子内B-N配位結合を用いた電子構造修飾

π*軌道の広がりを保ちながらエネルギーレベルを低下



ホウ素上に導入する置換基によりLUMOLEベルの精密制御も可能

用いるπ共役骨格によりさらに低いLUMOLEベルも実現可能

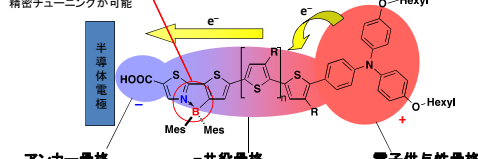
1) Wakamiya, A.; Taniguchi, T.; Yamaguchi, S. *Angew. Chem., Int. Ed.* 2006, 45, 3170.

有機色素の分子設計コンセプト

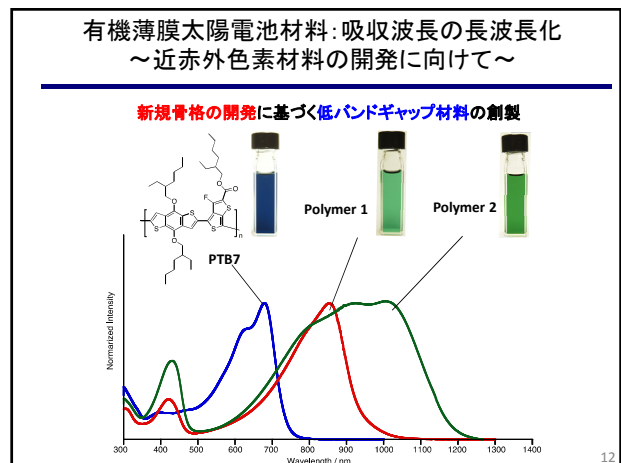
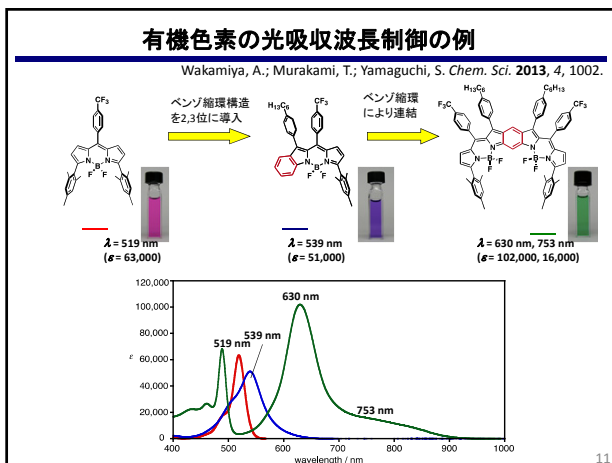
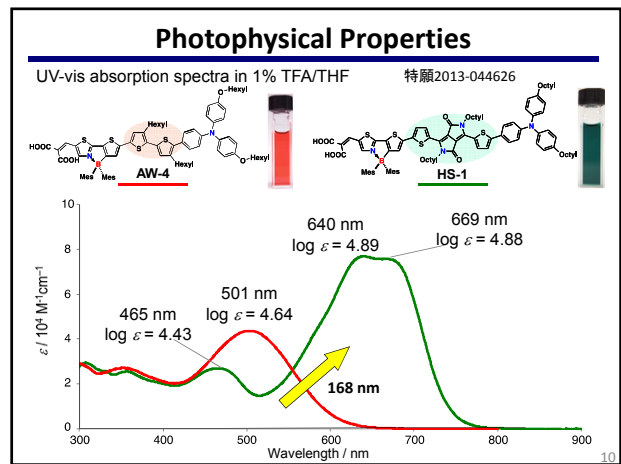
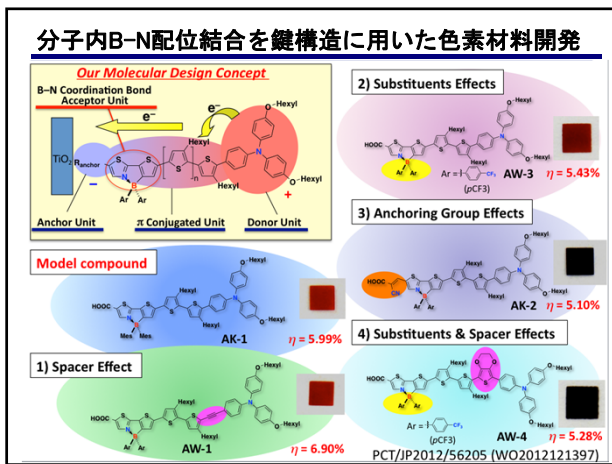
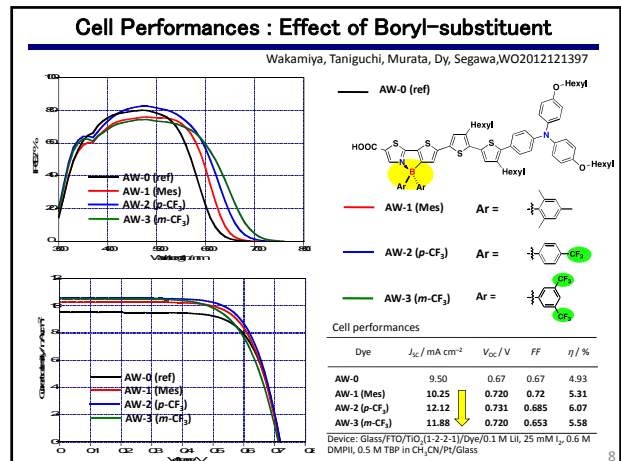
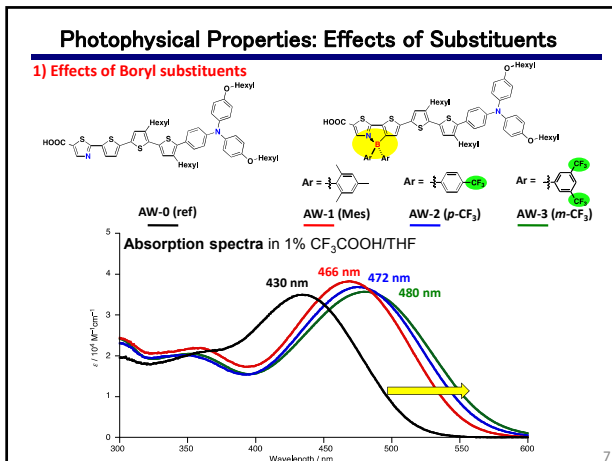
- 1) ππ*遷移と分子内電荷移動遷移を組み合わせる
- 可視光領域だけでなく近赤外領域の太陽光を吸収
- 速やかな電荷移動により電荷再結合の抑制
- 2) π軌道にグラデーシオンをつける
- 高い光吸収効率と高い電荷分離効率を実現
- 3) π共役拡張の効果
- π-π*遷移がさらに長波長領域にシフト
- 電荷注入効率の向上
- 4) アンカー骨格の検討
- 自己集積の抑制、電荷再結合の抑制
- 5) π共役骨格の被覆

分子内配位結合 (電子受容性骨格)

ホウ素上の置換基によりπ共役骨格のπ軌道の精密チューニングが可能



若宮、谷口、村田、Dy、瀬川、特願2011-53597.



-太陽電池工学の立場から-

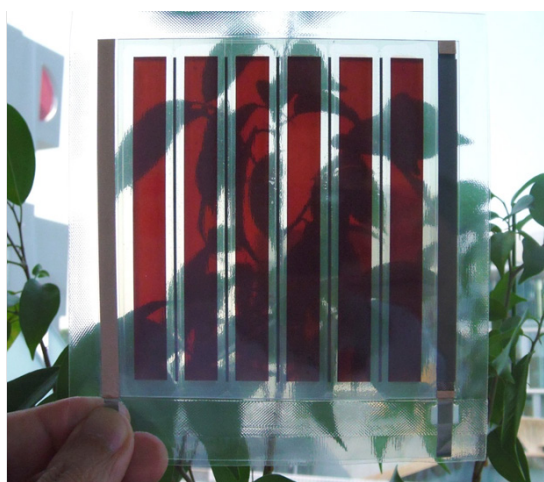
軽量、光透過性太陽電池パネルの開発

宮坂 力（桐蔭横浜大学 大学院工学研究科）

太陽電池として普及しているシリコン結晶太陽電池は、その機能と用途がかなり制限されている。たとえば曇天、雨天など低照度のもとでは電圧低下によって出力が大きく低下する。また、Si 結晶の脆さのためにガラス等の重たい基板を用いフレキシブル化も難しい。CIGS 等の他の太陽電池も同様であるが太陽電池は黒く不透明であり採光窓などへの設置はできない。一方、これら従来の太陽電池に代わって、次世代型として有機系太陽電池の実用化開発が始まり、とくに色素増感太陽電池（DSSC）は（1）安価な材料（酸化チタンと色素）を使った塗布工程で製造でき、（2）低照度の光のもとでも安定な電圧を出力する点、そして、（3）透明体として窓などへも応用できる点をメリットとしている。

われわれは DSSC を、プラスチックを使った軽量フレキシブルで透明なフィルム状太陽電池とする技術開発を進め、太陽エネルギー変換効率はフィルム状 DSSC としては最高の 4% 以上に達している。屋外の太陽光直射のみならず屋内の拡散光に対しても高効率の発電をすることから、窓やパネル、あるいは様々な形状の曲面体への設置という応用には最適の太陽電池である。高温高湿の環境下でも数年間の耐久性を確保するための開発を進め、農業用グリーンハウスの屋内へこのフィルム太陽電池のモジュールを設置し、発電の実証試験を進める計画である。軽量フレキシブルなために交換取付が容易であり、また、使用済の太陽電池は、使用部材を容易に回収、リサイクルすることができる。

DSSC は色素を光吸収に使う仕組みから光合成モデルの 1 つと特徴づけられ、増感色素を選ぶことによって発電する光と透過させる光の波長を調整することが可能であり、この特徴は、植物栽培と組み合わせたエネルギー利用システムへ応用することができる。高効率型 DSSC は一般に緑を吸収し、赤色を透過する特徴を持ち、透過光は光合成に利用することができる。この効果は、2005 年には愛知万博の会場において、緑化壁の植物を覆う形でフィルム DSSC を設置して実証している。農業への応用はフィルム DSSC の有力な産業出口と考える。



A film-type bifacial module of dye-sensitized solar cell comprising series connection of 6 unit cells. Output DC voltage, 4.2V. Total thickness of the module including substrates, 0.5 mm.

Toin University of Yokohama

Toward PCE15% printable photovoltaics

軽量、光透過性太陽電池パネルの開発

桐蔭横浜大学大学院工学研究科
宮坂 力

Toin University of Yokohama, Graduate School of Engineering, Kanagawa, Japan
Email: miyasaka@toin.ac.jp

色素増感太陽電池 (DSSC) のしくみと特長

Advantages of DSSC over conventional solid-state PVs

- High sensitivity to low intensity light
- Stable voltage against light variation
- Feasibility of full-printing low-cost manufacture

Toin University of Yokohama

両面発電の光透過型プラスチックDSSC

Thickness 470 μm

Light

PEN (polyethylene naphthalate) film (200 μm)

ITO conductive layer

Polymer sealer (<50 μm)

PEN film (200 μm)

Dye-sensitized porous TiO₂ (10 μm)

I⁻/I₃⁻ containing electrolyte

電極用基板フィルム
PECCELL's ITO-PEN film:
transmittance 80%
sheet resistance 13 ohm/sq.

Adhesion against curvature of 1/5 mm⁻¹

r = 5 mm

酸化チタン膜
Pencil hardness >H

色素増感発電層
色素N719

Cc1ccc(cc1N(C)C(=O)O)C2=CC(=CC=C2N(C)C(=O)O)N(C)C(=O)O

桐蔭横浜大学 Toin University of Yokohama

TiO₂ compression treatment improves PCE up to 6.1% (TiO₂ thickness < 4 μm)

変換効率 = 6.12%

	J_{sc} (mA/cm ²)	V_{oc} (V)	FF	Eff. (%)	S.D.
D205 / TiO ₂	12.83	0.72	0.66	6.12	±0.02

Toin University of Yokohama

Peccell

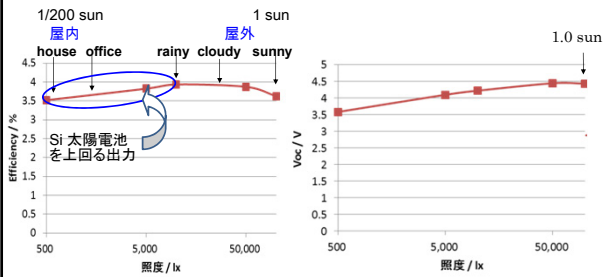
両面発電、プラスチックフィルム色素増感太陽電池

Peccell Technologies, Inc.
Developed a DSSC film module (DC4V) of 4% efficiency.
A small devise is useful for powering a portable radio under exposure to indoor light (left)

A film-type bifacial module of dye-sensitized solar cell comprising series connection of 6 unit cells. Output DC voltage, 4.2V. Total thickness of the module including substrates, 0.5 mm.

T. Miyasaka, *J. Phys. Chem. Lett.*, 2011, 2, 262

DSSC直列モジュールの出力効率 vs. 光量



1sun~1/200 sunの広い光量範囲で、高効率、高電圧を維持

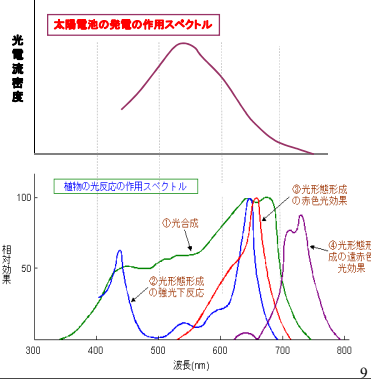
7

愛知万博2005の会場 巨大緑化壁「バイオラング」に設置して実証



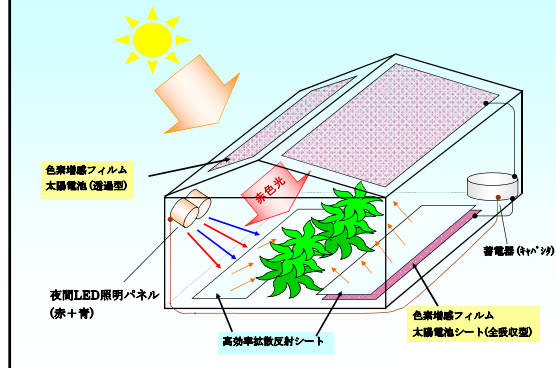
8

太陽光発電の透過光は 光合成に利用できる 電力と植物生産の“コジェネレーション”



9

透過型色素太陽電池を用いる自立式野菜栽培システム (桐蔭横浜大学、学部連携プロジェクト)



10

-環境経済学の立場から-

農地を利用した太陽光発電

- 千載一遇のチャンスか？ マクロな視点から考える -

川島博之（東京大学大学院農学生命科学研究科）

農地を利用した太陽光発電に注目が集まっている。農地で太陽光発電を行うと儲かるというのだ。これは、買い取り価格が高すぎることに起因している。福島原発事故を受けて自然エネルギーに注目が集まったが、その際に普及を急ぐあまり、自然エネルギーの買い取り価格を高く設定しすぎてしまった。そして、太陽光発電において農地の利用を想定していなかったようだ。設置場所として屋根を考えていたが、それは全部で23万haでしかなく、南側など発電に適する部分はその数分の一でしかない。そして、屋根への設置には工事費がかさむ。だから、買い取り価格を高く設定し、条件が不利な屋根への普及を考えたのだ。しかし、日本には455万haもの農地がある。その内、40万haは耕作放棄地になっている。

日本における電力の売り上げは約20兆円である。現在の技術を用いて、62.8万haで太陽光発電を行えば、日本が必要とする電力は発電できる。これより計算すると、1ha当たりの売電価格は3,170万円となる。一方、日本の農業の売り上げはコメが1.85兆円、コメの栽培面積は158万haだから、1haの売り上げは117万円に留まる。これは売り上げであり、利益はその約半分である。つまり、コメを作るより電気を作った方が30倍以上の利益を上げることができる。

現状では、0.1haの土地に太陽光パネルを設置すると約1,500万円の初期投資が必要になるが、42円/Kwhで売電すると、一年間に約300万円の収入を得ることができる。つまり、約5年間で初期投資を回収し、その後は売電量がそのまま利益になる。これは、農家にとって大きなチャンスだろう。

ただ、これは原発事故後に、熱にうかれて電力の買い取り価格を高く設定した結果である。このようなバブル的な状況がいつまで続くかは解らない。冷静に考えれば、日本のように人口密度が高い国で、太陽光で十分な発電ができるのであれば、世界中に爆発的に普及するはずである。しかし、実際には太陽光発電の伸びは芳しいものではない。

耕作放棄地や休耕地での発電を想定するのであれば、広い土地の利用が可能になる。そのためには、性能はそれほど高くなくとも、製造コストが安いパネルを作る必要がある。そして、もし狭い日本で農地を用いて十分な発電量が得られるのであれば、それは世界の電力事情を大きく変えることになるだろう。ただ、太陽光発電が供給する電気が不安定で質が悪いことを考えると、さらなる普及を考える上では、冷静な検討が必要であることは言うまでもない。

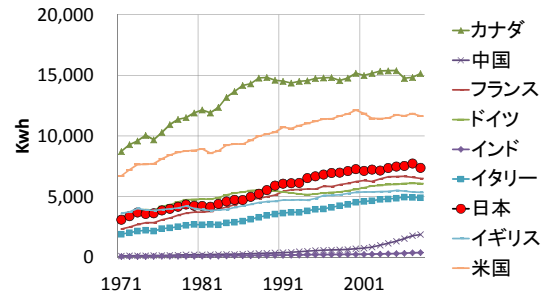
農地を利用した太陽光発電

一 千載一遇のチャンスか？
マクロな視点から考える 一

東京大学大学院農学生命科学研究科
川島博之

一人当たり電力消費量

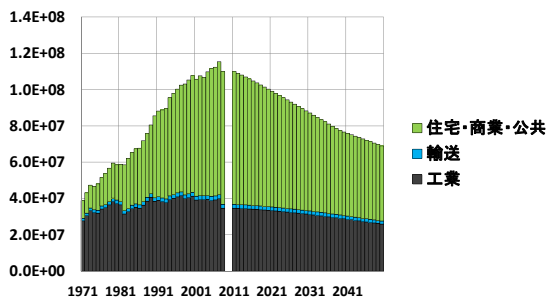
単位(KWh/(人・年))



2

電力需要予測

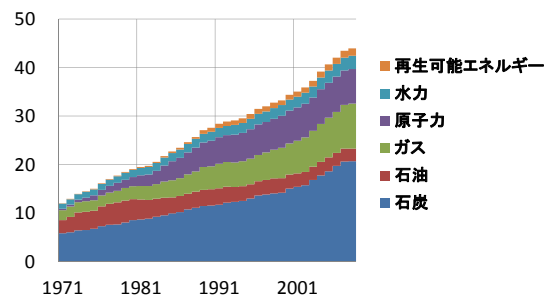
人口減少と民生部門が年率1%節電 単位KW



3

世界の発電源

単位: 億TOE



4

発電コスト(1Kwhあたり) 関西電力ホームページより

- 石炭: 9.5円~9.7円
- 天然ガス: 10.7円~11.1円
- 石油: 36.0円~37.6円
- 原子力: 8.9円
- 水力: 10.6円
- 風力: 9.9円~17.3円
- 太陽光発電: 33.4円~38.4円(2010年)

5

太陽電池パネルをどこに設置するのか

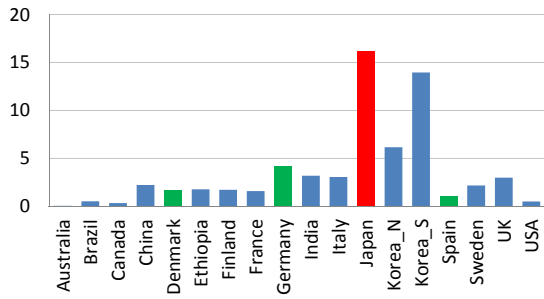
日本の電力全てを賅うとしたら62.8万haが必要

- 住宅数4959.8万戸(2008年) 平均延床面積 92.41m²(2階建て、南側のみ使用)一戸: 23.1m²
- 日本の屋根の総面積は11.5万ha
- 耕地面積: 455万ha 田: 247万ha 畑: 208万ha 耕作放棄地: 約40万ha
- 水稲作付面積: 157.9万ha 小麦: 20.9万ha その他麦: 6万ha 大豆: 13.1万ha そば&甜菜12万ha

6

平地の人口密度

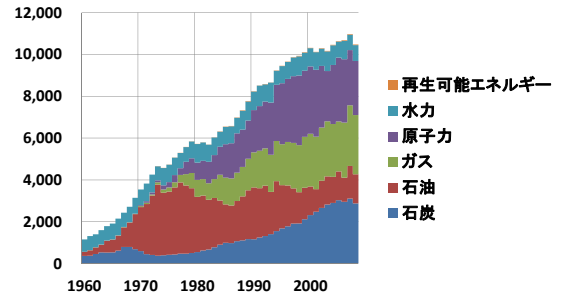
単位: 人/ha



7

日本の発電

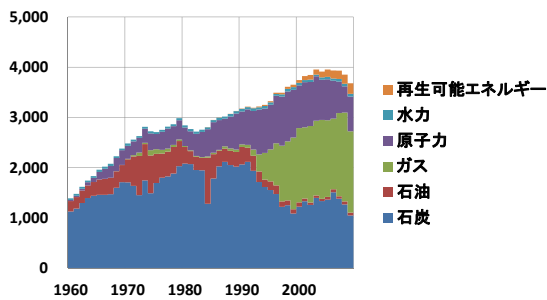
単位: 億kWh



8

イギリスの発電

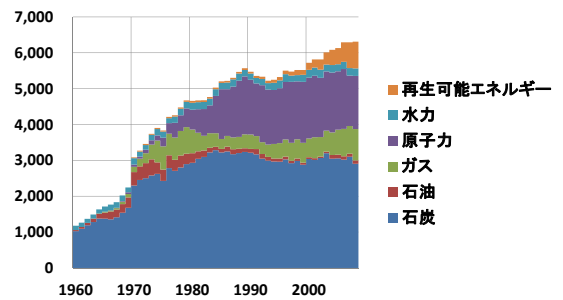
単位: 億kWh



9

ドイツの発電

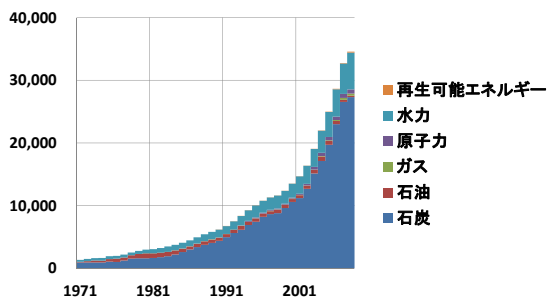
単位: 億kWh



10

中国の発電

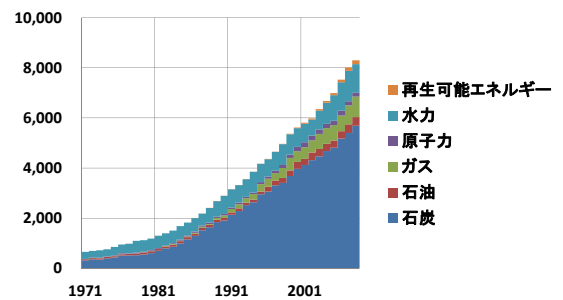
単位: 億kWh



11

インドの発電

単位: 億kWh



12