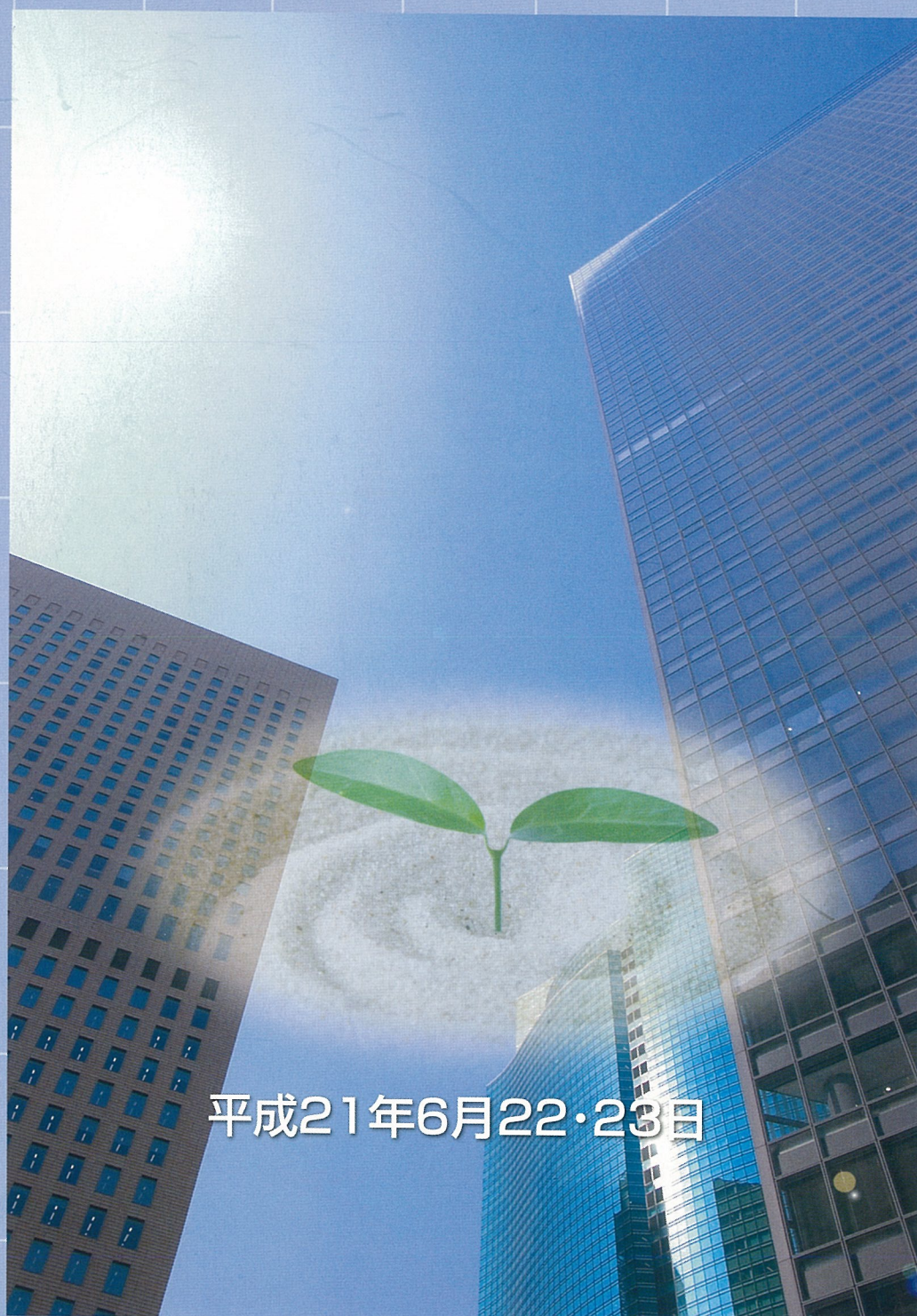


# 第5回太陽光発電研究センター 成果報告会



平成21年6月22・23日



独立行政法人  
産業技術総合研究所

# 第5回太陽光発電研究センター成果報告会

日時 : 平成21年 6月22日(月)、23日(火)  
場所 : 日本科学未来館 7階

6月22日(月) 受付 9:00

10:30 午前の部

座長 増田 淳

開会の辞 太陽光発電研究センター 副センター長 仁木 栄

開会挨拶 産業技術総合研究所 理事 矢部 彰

来賓挨拶 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO)  
新エネルギー技術開発部 統括主幹 徳岡 麻比古

## 特別講演

「新エネルギー政策の新たな展開」

経済産業省 資源エネルギー庁 新エネルギー対策課 課長 渡邊 昇治 …… 197

太陽光発電研究センターの概要と戦略  
太陽光発電研究センター センター長 近藤 道雄 …… i

12:00~13:00

昼食

13:00~15:00

座長 松原 浩司

化合物薄膜チームの概要 仁木 栄 …… 1

有機新材料チームの概要 吉田 郵司 …… 16

結晶シリコンチームの概要 坂田 功 …… 26

シリコン新材料チームの概要 近藤 道雄 …… 37

15:00~15:30

休憩

15:30~16:30

座長 仁木 栄

評価・システムチームの概要 菱川 善博 …… 48

産業化戦略チームの概要 増田 淳 …… 58

16:30~17:10

## 招待講演

「蓄電池技術の現状と将来展望」

産業技術総合研究所 ユビキタスエネルギー研究部門 辰巳 国昭 …… 209

17:10~17:50

## 招待講演

「本格化するわが国の太陽光発電システム普及体制整備と今後の日本  
—復活への軌跡と2つの“GW カントリー” 大国実現に向けて—」

株式会社資源総合システム 代表取締役 社長 一木 修 …… 227

17:50~18:00

センター賞授与式

18:30~

意見交換会 (スカイレストラン「シーガル」)

6月23日(火) 受付 9:00

10:00~11:30 午前の部 座長 坂田 功  
トピックス講演

微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を用いた高電流型薄膜太陽電池の開発	松井 卓矢 ……	67
高移動度透明導電膜を窓電極に用いた Si 系太陽電池	鯉田 崇 ……	73
薄膜シリコン太陽電池用光閉じ込め構造	齋 均 ……	79
薄型結晶シリコン太陽電池の開発	高遠 秀尚 ……	85
高性能・高耐久性を目指した有機色素増感太陽電池	原 浩二郎 ……	89
高分子系有機薄膜太陽電池の高性能化	山成 敏広 ……	97

11:30~14:00 昼食 ポスターセッション

14:00~15:45 午後の部 座長 吉田 郵司  
トピックス講演

軽い!曲がる!高性能フレキシブル CIGS 太陽電池の開発	石塚 尚吾 ……	107
CIGS 集積型サブモジュールの高効率化技術開発	小牧 弘典 ……	115
産総研における基準太陽電池デバイス校正の技術進捗	猪狩 真一 ……	119
産総研メガ・ソーラタウンー不具合の実例とその探査法ー	加藤 和彦 ……	128
太陽電池屋外測定試験の国際比較	高島 工 ……	132
各種太陽電池モジュールの分光感度測定方法	津野 裕紀 ……	137
太陽電池モジュールの発電量定格と評価プラットフォーム	大谷 謙仁 ……	143

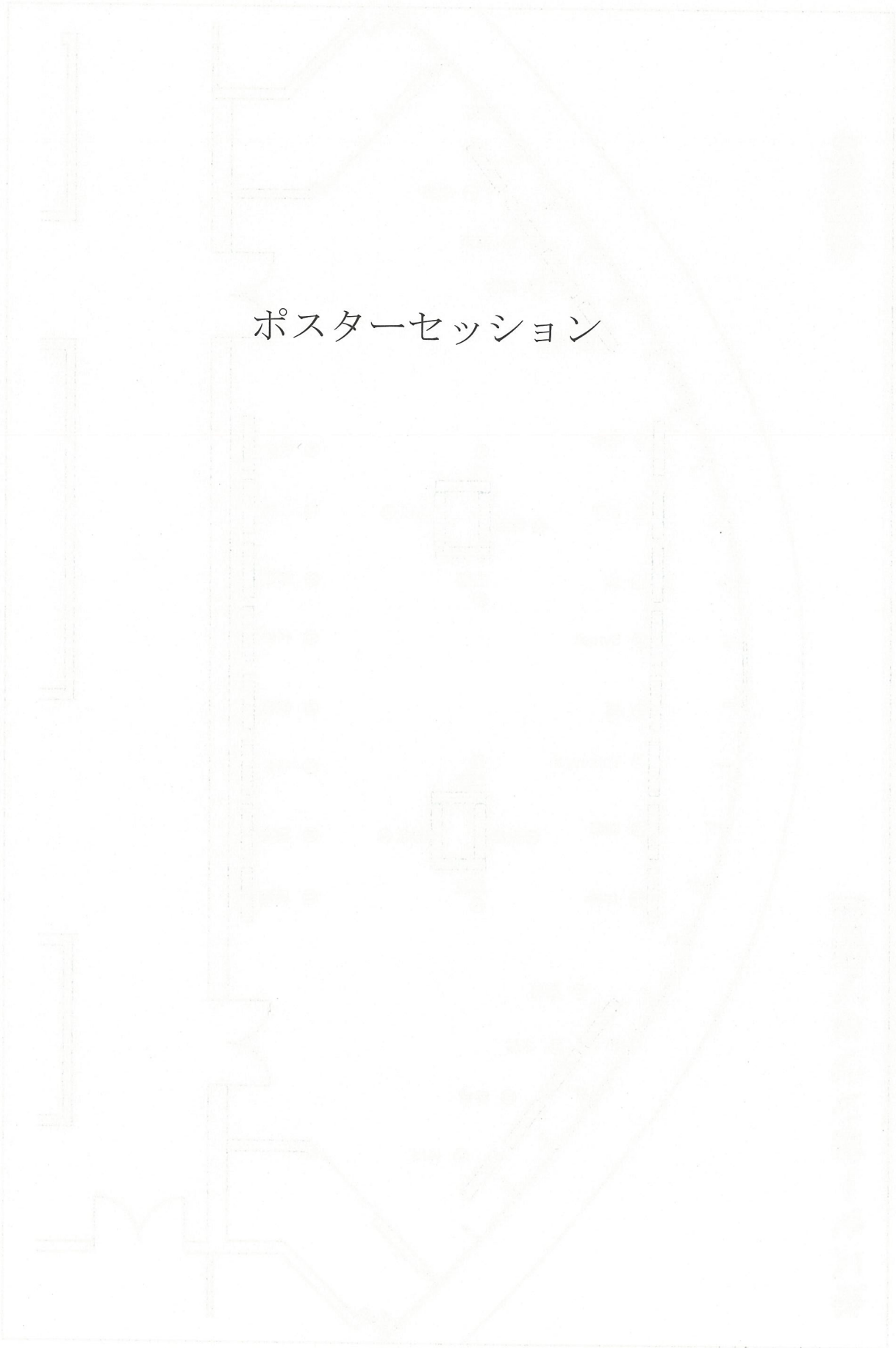
15:45~16:15 座長 菱川 善博

高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアムの概要	増田 淳 ……	153
------------------------------	---------	-----

16:15~16:25 PVJapan のご案内 SEMI JAPAN 代表 中川 洋一

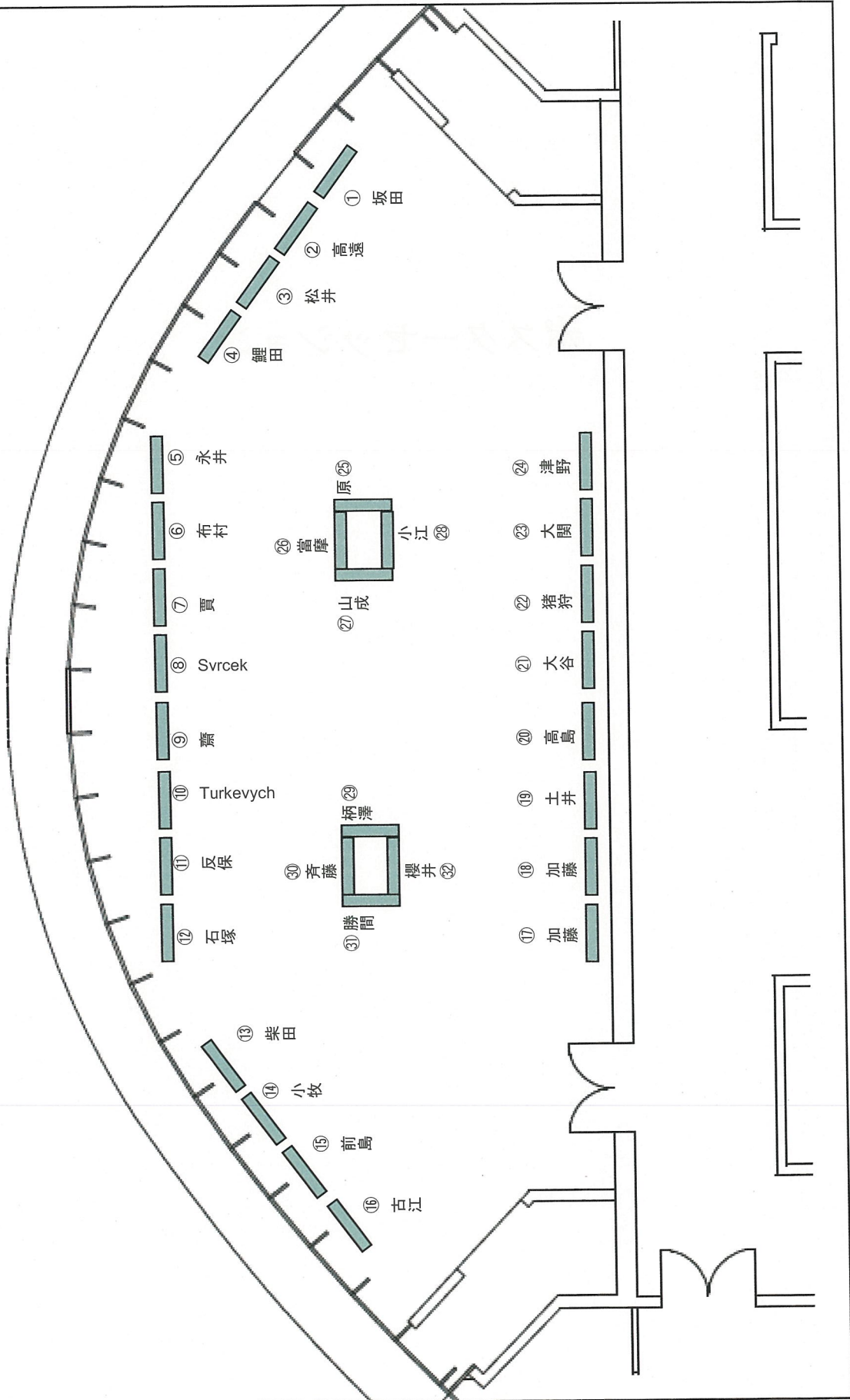
16:25~ 閉会の辞 太陽光発電研究センター センター長 近藤 道雄

ポスターセッション



# ポスターセッション会場

# 会議室3



ポスターセッション

\*会場 23日(火) 会議室3

	発表者	題目	
結晶シリコンチーム	1. 坂田 功 Isao Sakata	GaPN膜への炭素ドーピング Carbon doping to GaPN	
	2. 高遠 秀尚 Hidetaka Takato	薄型結晶シリコン太陽電池の開発 Development of thin-crystalline silicon solar cells	
シリコン新材料チーム	3. 松井 卓矢 Takuya Matsui	微結晶 $Si_{1-x}Ge_x$ を用いた高電流型薄膜太陽電池の開発 Development of microcrystalline $Si_{1-x}Ge_x$ thin film solar cells exhibiting high photocurrent densities	
	4. 鯉田 崇 Takashi Koida	高移動度透明導電膜を窓電極に用いたSi系太陽電池 Application of high-mobility TCO to Si based solar cells	
	5. 永井 武彦 Takehiko Nagai	微結晶シリコン製膜プロセスにおけるナノパウダーの挙動 Nanopowder dynamics in the microcrystalline Si thin film fabrication process	
	6. 布村 正太 Shota Nunomura	薄膜シリコンの高品質・高生産性化に向けたプラズマプロセス診断 Plasma process diagnostics for high-quality and high-throughput thin-film silicon deposition	
	7. 賈 海軍 Hajun Jia	急速加熱処理によるGaドーピングZnOの高透明化と薄膜太陽電池への応用 Formation of highly transparent textured Ga doped ZnO films through rapid thermal annealing for thin film solar cells	
	8. Vladimir Svrcek	Silicon nanocrystals and P3HT polymer bulk-heterojunction for hybrid solar cells	
	9. 齋 均 Hitoshi Sai	薄膜シリコン太陽電池用光閉じ込め構造 Light trapping structures in thin-film silicon solar cells	
	10. Ivan Turkevych	Dye sensitized solar cells based on hierarchical $TiO_2$ nanostructures	
	化合物薄膜チーム	11. 反保衆志 Hitoshi Tampo	酸化亜鉛系材料の電気分極効果と電気特性 Electric polarization effects and electrical properties for ZnO-based Materials
		12. 石塚尚吾 Shogo Ishizuka	軽い！曲がる！高性能フレキシブルCIGS太陽電池の開発 Development of lightweight, bendable, and highly efficient CIGS solar cells
13. 柴田 肇 Hajime Shibata		ZnMgO混晶半導体における励起子局在現象 Exciton localization in ZnMgO alloy semiconductors	
14. 小牧 弘典 Hironori Komaki		CIGS集積型サブモジュールの高効率化技術開発 Development of high-efficiency CIGS integrated submodules	
15. 前島 圭剛 Keigou Maejima		多源RFマグネトロンスパッタ法による $Zn_{1-x}Mg_xO$ 系透明導電膜の作製と評価 Characterization of $Zn_{1-x}Mg_xO$ transparent conducting thin films fabricated by multi-cathode RF-magnetron sputtering	
16. 古江 重紀 Shigenori Furue		CIGS太陽電池における光吸収層の薄膜化 Fabrication of CIGS solar cells with thinner absorber layers	

◀ ポスターは22日もご覧になれます。ポスターセッションは23日のみ行います。

ポスターセッション

\*会場 23日(火) 会議室3

	発表者	題目
評価・システムチーム	17. 加藤 和彦 Kazuhiko Kato	住宅用PVシステムの保守の実態－PVは「メンテナンス・フリー」なのか?－ A Survey of residential PV system maintenance
	18. 加藤 和彦 Kazuhiko Kato	産総研メガ・ソーラタウン－不具合の実例とその探査法－ AIST Mega SolarTown - Troubles during 5-year operation and diagnostic technique-
	19. 土井 卓也 Takuya Doi	太陽電池モジュールの長期信頼性評価技術 Long term reliability evaluation of PV modules
	20. 高島 工 Takumi Takashima	太陽電池屋外測定試験の国際比較 Intercomparisons of outdoor performance measurements of PV modules
	21. 大谷 謙仁 Kenji Otani	太陽電池モジュールの発電量定格と評価プラットフォーム Energy rating of PV modules and testing platform
	22. 猪狩 真一 Sanekazu Igari	産総研における基準太陽電池デバイス校正の技術進捗 Recent advance in calibration of reference PV devices at AIST
	23. 大関 崇 Takashi Oozeki	広域分散設置による太陽光発電システムの変動特性に関する研究 An evaluation of the output fluctuation of photovoltaic systems dispersed in a large area
	24. 津野 裕紀 Yuki Tsuno	各種太陽電池モジュールの分光感度測定方法 A method for spectral response measurements of PV modules
有機新材料チーム	25. 原 浩二郎 Kohjiro Hara	高性能・高耐久性を目指した有機色素増感太陽電池 Efficient and stable organic-dye-sensitized solar cells
	26. 當摩 哲也 Tetsuya Taima	ポリマーブレンド有機薄膜太陽電池の劣化機構の解明 Degradation mechanism of polymer-based organic photovoltaic cell
	27. 山成 敏広 Toshihiro Yamanari	高分子系有機薄膜太陽電池の高性能化 Development of highly efficient polymer-based organic solar cells
	28. 小江 宏幸 Hiroyuki Ogou	引き上げ法およびブラシ法を用いたポリマーブレンド有機薄膜太陽電池の作製 Polymer-based organic solar cells fabricated by dip-coat and brush-coat method
産業化戦略チーム	29. 柄澤 稔 Minoru Karasawa	低環境負荷ガスを用いた薄膜シリコン太陽電池用チャンバークリーニング Chamber cleaning for thin-film silicon solar cells using environmentally-friendly gas
	30. 齊藤 公彦 Kimihiko Saito	微結晶シリコン成長方位決定機構の解明 Mechanism for crystalline orientation of microcrystalline silicon films
	31. 勝間 勝彦 Katsuhiko Katsuma	アクリル樹脂テクスチャを用いたサブストレート型フレキシブル薄膜シリコン太陽電池 Substrate-type flexible thin-film silicon solar cells with texture using acrylic polymer
	32. 櫻井 啓一郎 Keiichiro Sakurai	普及製作のインパクトと要点の分析 Deployment policies of PV: Essentials for Japan

※ ポスターは22日もご覧になれます。ポスターセッションは23日のみ行います。

# 太陽光発電研究センターの概要と戦略



# 太陽光発電研究センターの概要と戦略

センター長 近藤 道雄

## 1. はじめに

危機的な経済状況と環境産業への追い風という一見相反する状況の中で太陽光発電がますますその重要度を増してきています。太陽光発電は環境政策、エネルギー政策、経済政策という3つの大きな意味を持っており、現在の経済危機の中でこそ、太陽光発電産業を推進することが明日の産業の糧となることが期待されます。(独)産業技術総合研究所、太陽光発電研究センターは本年で6年目を迎え、来年度に一つの節目を迎えますが、太陽光発電の研究開発の重みは高まるばかりであり、センターとしてもその期待にこたえる責務があると考えております。当センターでは結晶シリコン、シリコン新材料、化合物薄膜、有機新材料、評価・システム、産業化戦略という6チーム体制で、常勤研究職員30名に加え、ポストドク、非常勤職員、学生、企業出向者等併せて総勢150名を超える陣容で材料からシステムにいたるまで太陽光発電研究に包括的に取り組んでいます。当センターと比較される組織としてはアメリカ NREL、ドイツ フランホーファー研究所などがありますが、NREL はどちらかというと基礎寄り、フランホーファは企業寄りで、当センターはその中間に位置付けられ、基礎と応用の両方をバランスとりながら進めています。研究センターの規模をフランホーファ研究所と比較するとその規模は1/5でしかありませんが、その少ないマンパワーで薄膜や新材料、標準化に至るまでの広範囲なミッションをカバーしています。



当センターの成果報告会は今年で5回目となり、600名を越える方の参加登録をいただきました。参加者も年々増えています。今年も PV-JAPAN、RE2009 と連携しながら、太陽光発電の普及活動に寄与していきたいと考えています。またこのセンターをより国際的に認知される研究開発拠点としてゆきたいと考えています。

## 2. センターの研究戦略

当センターは材料からシステムまで、基礎から産業化までを包括的に網羅する国内で唯一の研究機関であり、その強みを生かして太陽光発電全体の研究開発のハブ的な役割を果たすことを目指しています。当センターのミッションはポリシー・ステートメントという形で公表しております。そのなかで当センターの研究は以下の4つを柱として進めてまいります。

- (1) 新規太陽電池材料およびデバイスの開発、評価
- (2) 太陽電池の標準化と評価技術の開発

### (3) 太陽光発電システム運用、評価技術の開発

### (4) 太陽光発電を通じた国際協力

これらの中で太陽光発電の最大の課題である発電コストを低減するための材料、デバイス、プロセスを開発することが最優先と考えます。また、可能性のあるすべての材料を満遍なくカバーしておく必要があります。現在は 4 つの材料、結晶シリコン、薄膜シリコン、化合物薄膜、有機・色素系材料について研究を行っています。昨年度から 40%を超える効率を低コストで実現する新しい概念に基づいた次世代太陽電池の開発も国際研究拠点として始めました。現時点ではすべての材料に可能性があるとの検討をするというのが必要な戦略であると考えており、むしろ積極的に全体を網羅していくことこそ当センターの強みと考えています。

結晶シリコンについては最近需給バランスが緩和されたとはいえ、今後世界的規模の数百ギガワットレベルで普及させるためには資源制約と高コストの課題を解決しなくてはなりません。そのために厚さ 100 ミクロン程度の薄型化と 20%を超えるさらなる高効率デバイスの開発が引き続き重要です。薄型ウエーハやシリコンの使用効率を高める新しいスライス技術、様々なシリコン原料やウエーハの評価技術をあわせて行っています。薄膜シリコンとの境界領域とも言える単結晶薄膜についても今年度から研究を開始しました。低温でガラス基板上に薄膜のシリコンあるいはシリコンゲルマニウム単結晶を製膜する技術を開発しています。結晶シリコン太陽電池は技術的にかなり成熟していると考えられていますが、当面はマーケットの主役であり、この分野での技術競争に勝ち残ることが今後の産業の足元を固めることになる重要な意味を持っていると考え、センターとしても継続的に取り組んでいく予定です。

薄膜シリコンは CdTe を筆頭とする薄膜太陽電池の成長に伴って注目度が増しています。また、最近フルターンキーが供給され始めたことで参入企業の数も増え、競争が厳しくなってきました。しかし、薄膜シリコン、特にアモルファスシリコンと微結晶シリコンのタンデム型太陽電池においては日本が優位性を持っており、この強みを生かすべく企業との共同研究に注力してまいります。当面は次世代技術として期待される 3 接合型太陽電池とそのボトムセル材料である微結晶シリコンゲルマニウムの開発に力を入れていきます。効率としてはセルレベルで 16%、中期的には 18%を目指した研究を行います。これを支える技術として高透過、低抵抗透明導電膜の開発、および赤外波長感度を高める光閉じ込め技術、そして基礎的ですが重要なプロセス診断技術の開発もあわせて行っています。

薄膜太陽電池の台頭に合わせて化合物薄膜、Cu-In-Ga-Se (CIGS)を太陽電池も活発に研究されています。この材料は、多結晶でも 20%の効率が得られる点が優位な点です。これまで研究レベルで高い効率が得られてきた方法は 3 段階法と呼ばれる蒸着法でしたが、現在実用化されているのはセレン化法と呼ばれる方法です。後者はコスト的には優れるものの、効率的にはやや劣ります。当センターでは効率に優れた蒸着法の実用化に取り組んでいます。現在ではコスト的に問題であったセレンの使用量を劇的に減らす技術を駆使して 10cm 角の大きさのモジュールまで作れるようになっており、モジュール効率で 15.9%を得ていますし、フレキシブル基板（チタン箔）上でも 17.7%の高い変換効率を達成しています。今後さらなる省資源と高効率

化を進めて、この材料の優位性を延ばしていきたいと考えています。

有機・色素系太陽電池は色素増感では効率で 12%の壁を突破したという報告や、有機薄膜でも 6.5%の高率を示すデバイスが報告されています。この分野はまだまだ伸び盛りなので目が離せません。現状の課題は耐久性でしょう。当センターでは劣化メカニズムの解明、劣化しない材料の開発やそれらの高効率化に取り組んでいます。また、有機系材料ならではの新しいアプリケーションの開拓にも取り組んでゆきます。

太陽電池においては精度の高い性能評価が求められます。特に新しい材料、多接合などの新しいデバイスに対する評価のニーズはたいへん高くなっています。また産業化が進んだ結果、セルの評価だけでなくモジュールの評価に対する要請が高まっています。当センターでは効率測定の公認機関、一次基準セルの校正機関としての役割を担っています。業界からは評価や構成の依頼が引きも切らず、最近では海外の企業からの依頼も増えてきました。日本の評価技術に対する信頼度が高いということの表れと考えています。性能評価技術の根幹をなすのは一次基準セルと呼ばれる太陽電池の原器です。これは絶対効率を評価するために物理標準に対してトレーサブルでなければなりません。また、中立性や精度の高さを維持するための体制を確立しておく必要があります。当センターでは ISO/IEC17025 に基づく一次および二次基準セル校正を開始します。

太陽電池の普及とともにシステムとしての動作、効率向上が重要になってきています。また、発電コスト低減と電力としての価値向上のためには高信頼性技術が非常に重要です。また、太陽電池は屋外での性能の評価、特に発電電力量の正確な評価が重要です。屋外での発電量評価について屋外測定データから様々な気象条件化で発電量を予測する技術を開発しています。これらの成果は国内外の工業規格に反映させるよう活動しています。

屋外での寿命を延ばすための技術および寿命を予測する加速試験技術の開発は今後日本製品の国際競争力のためにはますます重要です。最低でも 40 年以上の寿命を持つ太陽電池の開発、寿命評価法が必要ですが、設置した後に故障を簡便にかつ迅速に見つけ出す診断技術の重要性は普及拡大と共にこれからますます高くなると考えています。システムの中に組み込まれた太陽電池のわずかな異常を検知する技術も必要ですし、それを定期的に行う方法や制度の確立も重要と考えています。これらは人間の予防医学と多くの部分で共通しています。

情報化社会の現代ではスピードが命です。挑戦的な基礎技術の開発と迅速な産業化がこれからの日本に求められる基本的な戦略という認識の下、当センターでは企業ニーズを的確に捉え、センター内の技術シーズを合致させるように先導していく産業化戦略チームを設置しています。実験室サイズと量産サイズの間間的なサイズでの製膜装置を用いて基礎技術を半製品に適用、実証していくことでより迅速な産業化が促進できることを期待しています。また、このような設備は企業から出向される若手技術者の人材育成にも有用であると考えています。

今年度は、上で述べた高信頼、長寿命のモジュール技術およびその評価法を開発するコンソーシアムを設立します。これはこれまでのつくばでの研究開発と合わせて、産総研が保有する九州センターの土地を活用し、太陽電池の大規模な屋外長期暴露試験と屋内での加速試験を並列させ、寿命制限因子の抽出と解決法を開発します。加速試験の方法を併せて開発し、試験法の手順

と各種部材の標準化を目指します。これにより、材料に対するマイルストーンやベンチマークが明確化され、新規参入の障壁を取り除くことが期待されます。部材メーカーが保有しない太陽電池モジュール作成技術をプラットフォームとして提供し、そこで得られた技術を太陽電池メーカーに部材メーカーが競争的に供与することで産業のすそ野が広がり、健全な競争が加速されると期待しています。企業からの若手出向者に高度な職業的教育を施すことにもなると期待されます。このコンソーシアムは国からも予算的な援助を受けながら進めて行く予定ですが、すでに40社を超える企業の方々から参加の意思を表明していただいております、民間資金と合わせて今後このコンソーシアムを運営していく予定です。信頼性と屋外評価に対しては昨年度からインドのSEC (Solar Energy Center)およびNPL (National Physics Laboratory)とも共同で暴露試験等の共同研究を開始しています。

このように当センターが果たすべき役割は、技術開発だけでなく産業基盤の強化、高度人材育成、国際協力、さらには国民への啓蒙活動、政策支援にいたるまで太陽光発電のすべてを網羅する拠点機能持つことであると考えております。

### 3. 終わりに

最後に、当センターの活動に対し日頃御支援頂いている経済産業省、環境省、内閣府など政府機関、NEDO、JST などのファンディングエージェンシー、および国内外の大学、研究所、民間企業等関係各位に厚く御礼申し上げますと共に、一層の御指導、御鞭撻を賜りますよう心からお願い申し上げます次第です。

第5回太陽光発電研究センター  
成果報告会  
平成21年6月22、23日

(独)産業技術総合研究所  
太陽光発電研究センターの  
概要と戦略

太陽光発電の現状  
Current status of PV

## 低炭素社会づくり行動計画 [閣議決定] 2008 July

長期目標 Long term target CO2 削減 mitigation 60~80% ~2050  
-14% ? by 2020

太陽光発電の普及 Deployment of PV system X10 by 2020 (14GW), x40 by 2030 (53GW)  
→ 財政諮問会議 x20 by2020

革新的太陽光発電 7JPY/kWh Efficiency >40%

メガソーラ (電気事業者)、RPS  
Mega-solar, RPS

新築住宅 の70%以上にPV  
>70% newly built house with PV

➡ 新しい補助制度 09/02/2009

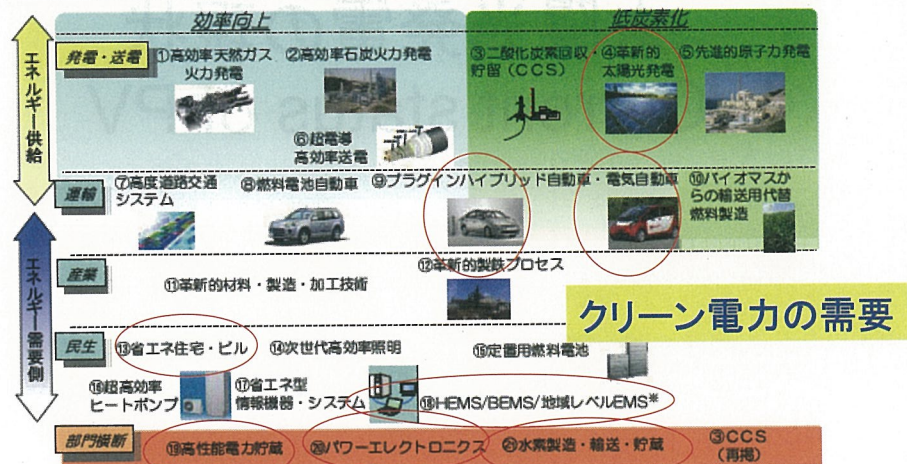
料金体系の見直し  
Tariff system : DE 500 yen/month

コスト削減、系統安定の技術開発  
R&D for Cost reduction, stability of grid

## Innovative energy technologies for COOL EARTH

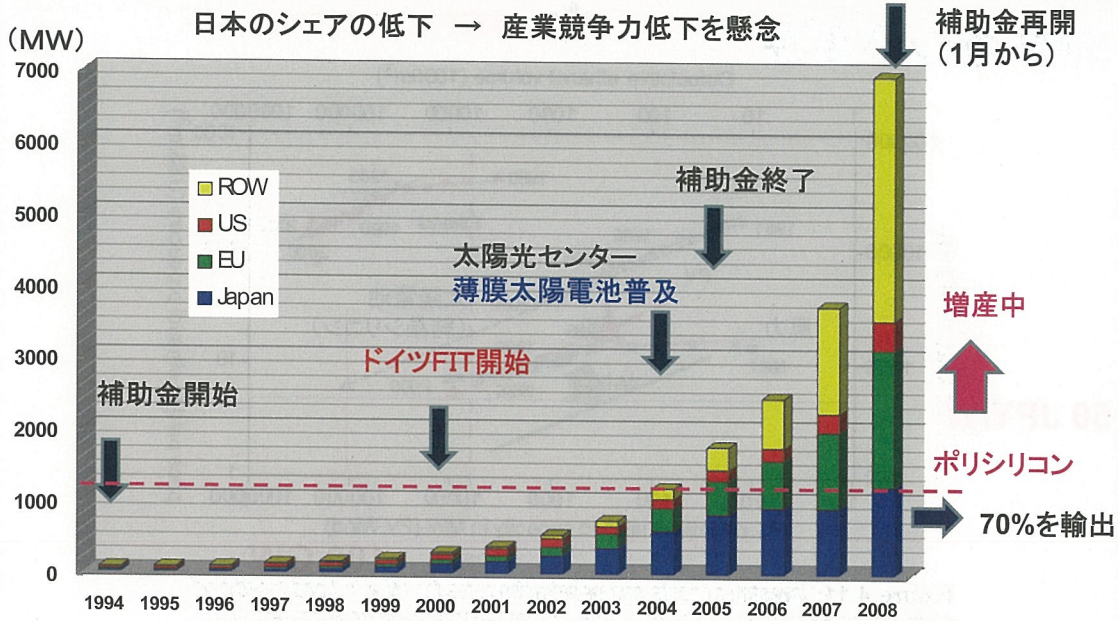
— 重点的に取り組むべきエネルギー革新技術 —

エネルギー源毎に、供給側から需要側に至る流れを俯瞰しつつ、効率の向上と低炭素化の両面から、CO2大幅削減を可能とする「21」技術を選定。



\*EMS: Energy Management System, HEMS: House Energy Management System, BEMS: Building Energy Management System

<http://www.meti.go.jp/press/20080305001/02cool-earth-p.r.pdf>



From PV News, Paul Maycock, editor

1 GW PV = 300,000 t CO2 reduction

独立行政法人 産業技術総合研究所

エネルギーの長期需給見通し (METI 2008)

年間石油消費量 3億kl  
x 10<sup>4</sup> kl

進展したケース

20倍に!

	2005	2020	2030	
PV	35 ~ 1.4 GW	350	1300 ~ 14 GW	X40 ~ 50 GW
Wind	44	200	269	X6
Biomass	394	723	917	X2.3
Other	687	763	716	→
Hydro	1732	1931	1931	→
Total	2892	3967	5133	
水力を除く	1160 (3.8%)	2036 (6.8%)	3202 (11%)	

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 新技術の必要性

## ★ 薄膜PV (Thin Film)

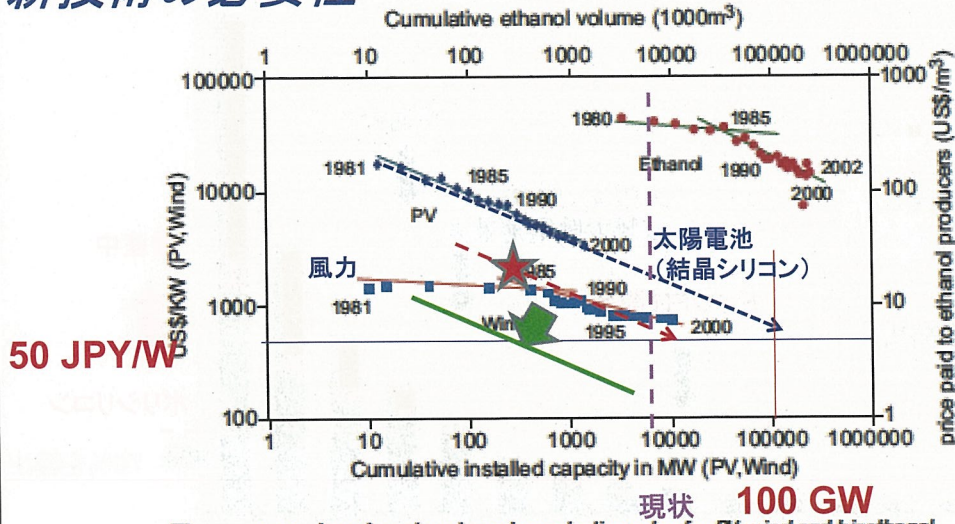


Figure 4.11: Investment costs and penetration rates for PV, wind and bioethanol systems showing cost reductions of 20% due to technological development and learning experience for every doubling of capacity once the technology has matured.  
Source: Johansson et al., 2004.

IPCC AR4

# 薄膜の時代へ Thin Film Era



CdTe

TF-Si



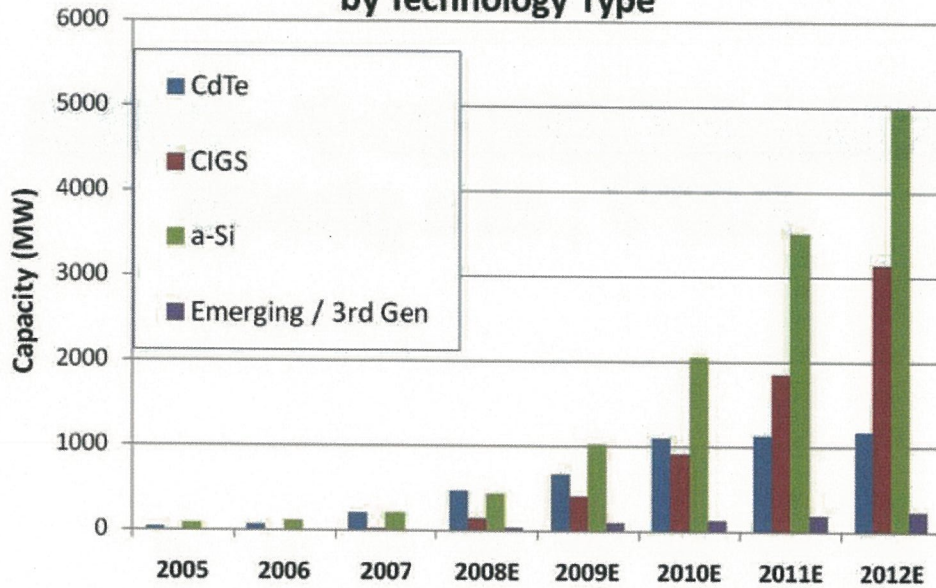
CIGS



	2005	2006	2007	2008
CdTe	Sharp(428)	Sharp(434)+1.5%	Q-Cells(389.2)+53.8%	Q-cells(570.4)+46%
	Q-Cells(166)	Q-Cells(253)+52%	Sharp(363)-16.4%	FirstSolar(504)+143%
	Kyocera(142)	Kyocera(180)+27%	Suntech(327)+107.6%	Suntech(497.5)+51%
TF-Si	Sanyo(125)	Suntech(158)+93%	Kyocera(207)+15%	Sharp(473)+30%
	Mitsubishi(100)	Sanyo(150)+20%	FirstSolar(207)+245%	Motech(384)+95%
	SchottSolar(82)	Mitsubishi(111)+11%	MOTECH(196)+78%	Kyocera(290)+40%
CIGS	Suntech(82)	MOTECH(110)+83%	Sanyo(165)+6.5%	Baoding Yingli(282)+98%
	Thin Film	Thin Film	Thin Film	Thin Film
	Unisolar(22)	FirstSolar(60)+200%	Unisolar(48)+71.4%	UniSolar(113)+135%
	Kaneka(21)	Unisolar(28)+27%	Kaneka(40)+33%	Kaneka(52)+30%
	FirstSolar(20)	Kaneka(30)+42%	MHI(16)+33%	MHI(40)+150%



Historical and Projected Thin-Film PRODUCTION by Technology Type



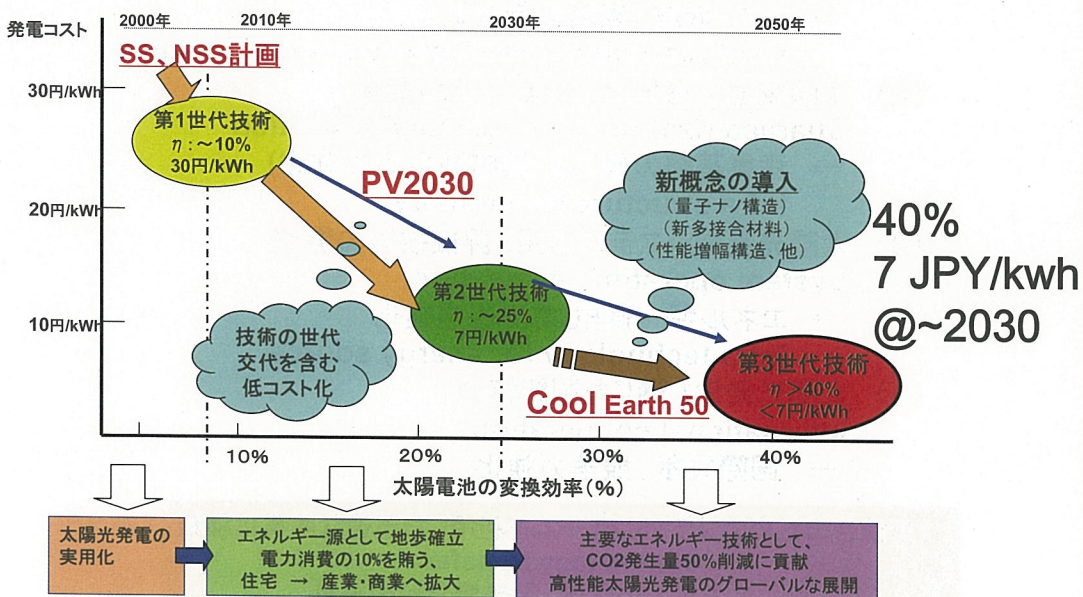
9

(Guha, PVSEC 18)

独立行政法人 産業技術総合研究所

Cool Earth 50

mitigate CO2 emission by 50% by 2050



独立行政法人 産業技術総合研究所

# 太陽光発電研究センターの概要

## RCPV ; at a glance

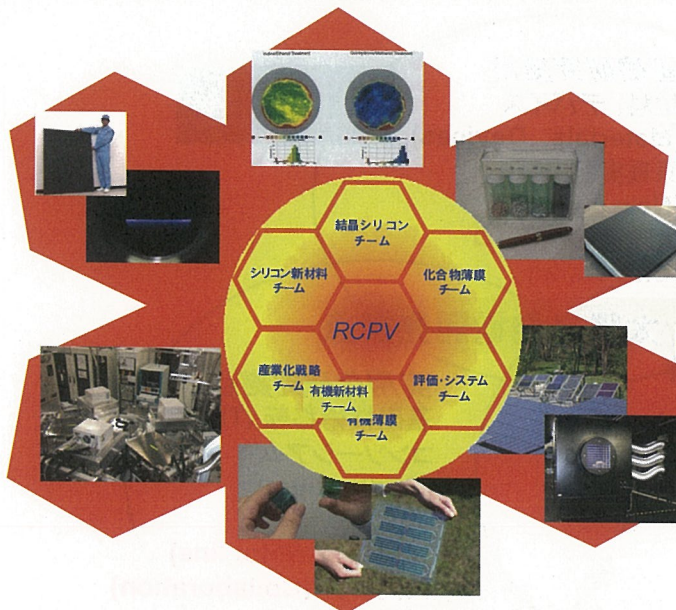
- (1) 新規太陽電池材料およびデバイスの開発、評価  
R&D for new materials and devices  
→ コスト低減、環境負荷低減  
**Cost reduction, lower environmental impacts**
- (2) 太陽電池の標準化と評価技術の開発  
Characterization, testing, standardization  
→ 産業基盤の確立（国際競争力の強化）  
**infra structure for industry**
- (3) 太陽光発電システム運用、評価技術の開発  
System operation, evaluation  
→ エネルギー源としての基盤強化  
**infra technology for energy source**
- (4) 太陽光発電を通じた国際協力  
International cooperation  
→ 国際貢献、競争力強化

技術統合のためのプラットフォームを利用した迅速な産業化移転

**Technology transfer**

中立的立場での評価、政策策定への貢献

**Impartiality**



総数 約160名  
 (契約職員、ポストドク、派遣、  
 出向、大学院生など)  
 正職員 29名  
 年予算 約10億

の1/5

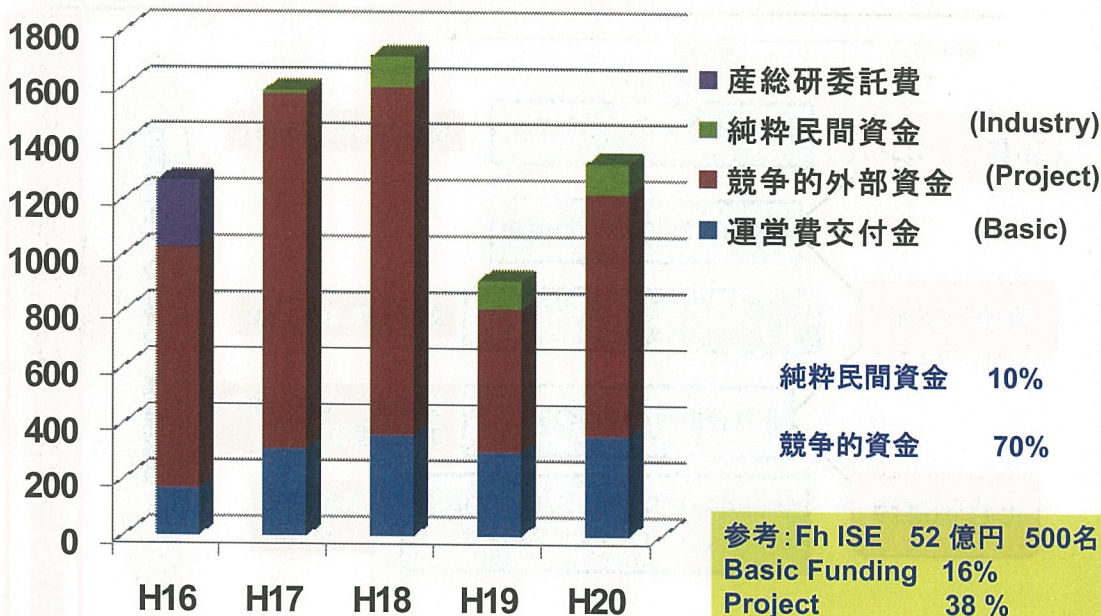


Fraunhofer Institut Solare Energiesysteme

日本で唯一の材料からシステム、標準までをカバーする総合センター  
 → 総合力の強み、総花的にならない工夫

PVセンターの予算推移  
 Budget

(百万円)



純粋民間資金 10%  
 競争的資金 70%

参考: Fh ISE 52億円 500名  
 Basic Funding 16%  
 Project 38%  
 Industry 37%

企業  
大学  
国際機関  
地域  
行政

**基礎研究拠点**  
材料、デバイス  
(Materials, Devices)  
原理実証  
(New concept)  
大学連携、国プロ  
(University)

NEDO未来技術  
NEDO革新型

**産総研 太陽光発電開発拠点**

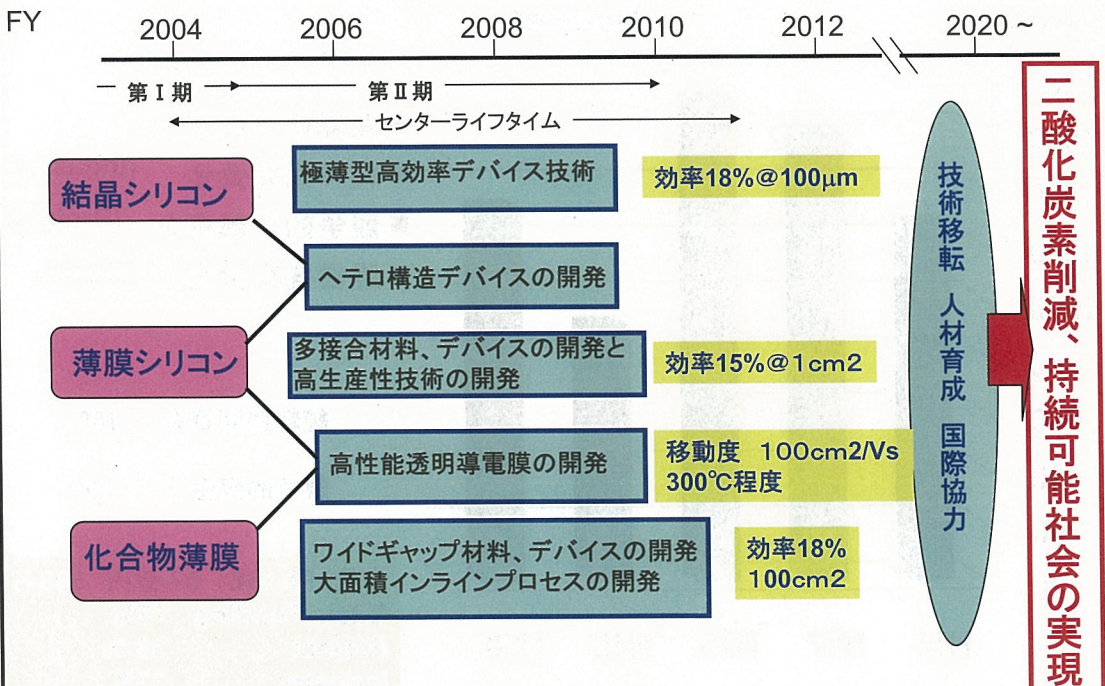
**評価標準研究拠点**  
中立評価  
(Characterization)  
基準校正  
(Calibration)  
規格策定  
(Standards)  
国際連携  
(International partnership)

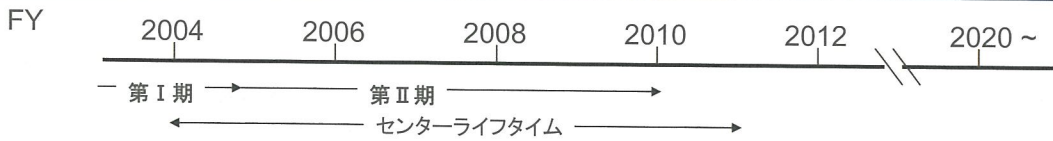
**実用化研究拠点**  
基礎技術移転 (TLO)  
コンソーシアム  
(Consortium)

試作ライン(Pilot line)  
共同研究 (Collaboration)

IEC17025試験所認定  
NEDO共通基盤

フレキシブルコンソーシアム  
高信頼性モジュールコンソーシアム





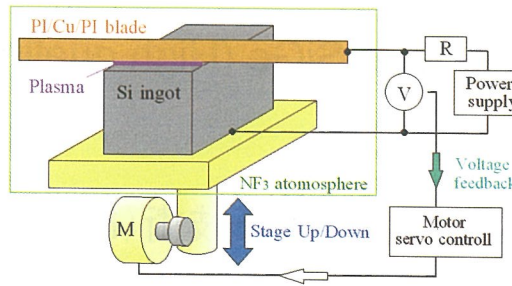
有機薄膜、色素増感	新材料探索 (低分子、高分子、色素) と新規デバイス構造開発	効率7% 1000h安定 新規応用開拓
評価システム技術	新型太陽電池評価技術 基準セル校正技術 システム評価技術	校正値不確かさ1%以下 発電量定格 IEC規格、JIS規格
産業化戦略	共通技術プラットフォームによる産学官連携コンソーシアム運営と新産業創出	フレキシブル基材開発 抵抗率 $5 \times 10^{-4} \Omega \text{ cm}$ 以下 水蒸気バリア能 $10^{-5} \text{ g/m}^2 \text{ day}$ 台

## 結晶シリコンの戦略 → 薄型化 <100 $\mu\text{m}$

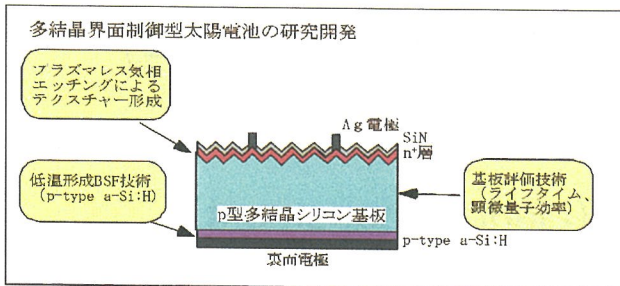
### プラズマスライス技術

トーヨーエーテックと共同

カーフロス 90 $\mu\text{m}$  (1.1  $\mu\text{m/s}$ )  
最大 4.9  $\mu\text{m/s}$



### 薄型高効率化技術

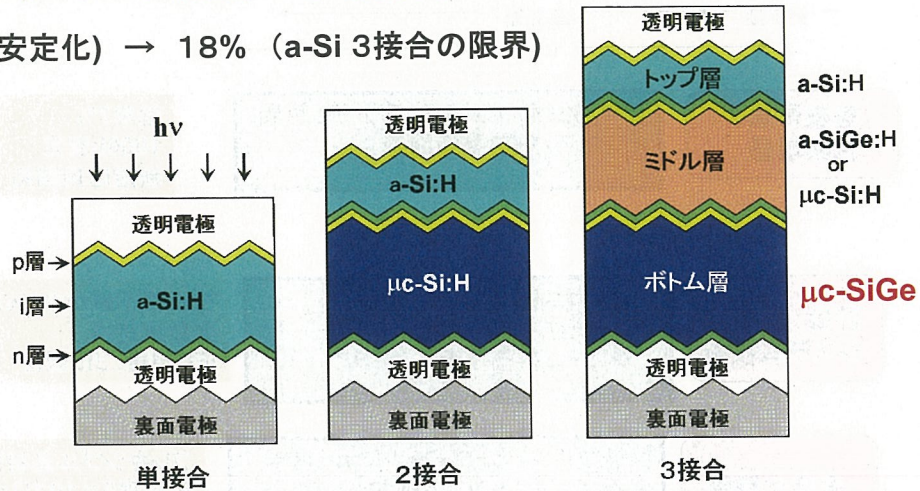


ウェーハ厚さ

100ミクロン 17.3%

## 薄膜シリコンの戦略→多接合化 $\mu\text{-SiGe}$

15% (安定化) → 18% (a-Si 3接合の限界)

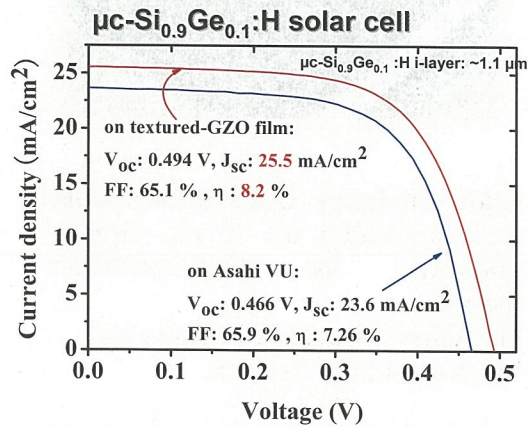
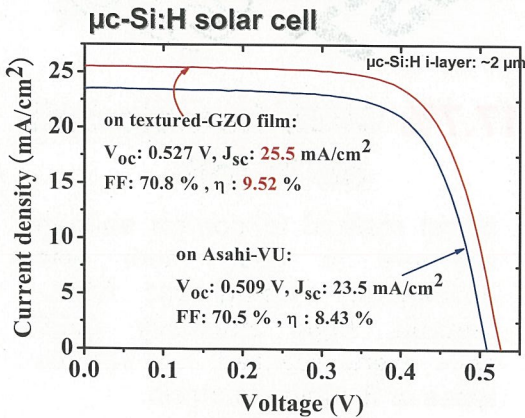
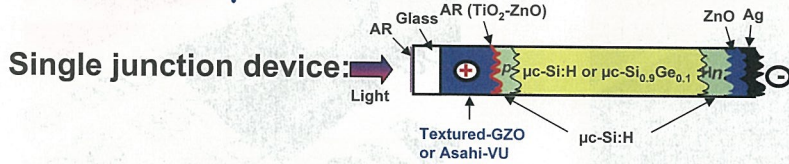


研究開始年	1976年～	1997年～	2000年～
変換効率	9.5% (ヌシャテル大)	11.7% (カネカ)	2010年NEDO目標: 15%

## 薄膜シリコン開発課題 (Issues for Thin Film Si)

- 高品質  $\mu\text{-SiGe}$  (High quality material)
- 高速高品質製膜技術 (High throughput process)
- 高透過低抵抗透明導電膜 (High quality TCO)
- 高度光閉じ込め技術 (Light management)

# 薄膜シリコンの戦略→多接合化 新材料 $\mu\text{c-SiGe}$



TCO開発 → 9.5%

SiGe 改質 → 8.2% (薄膜化 $\sim 1.1\mu\text{m}$ )

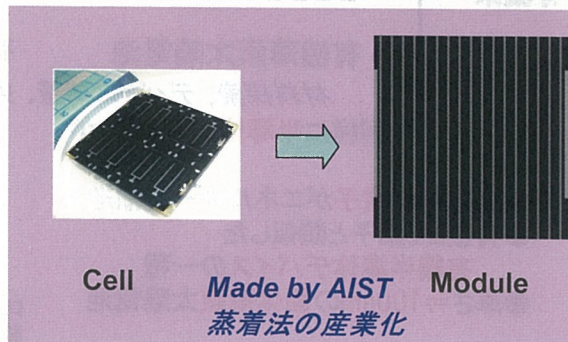
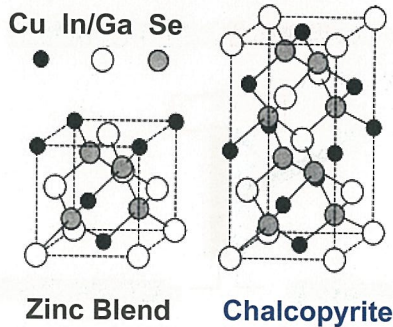
独立行政法人 産業技術総合研究所

# 化合物薄膜の戦略 ; 高効率、フレキシブル Compound semiconductors; Cu-In-Ga-Se



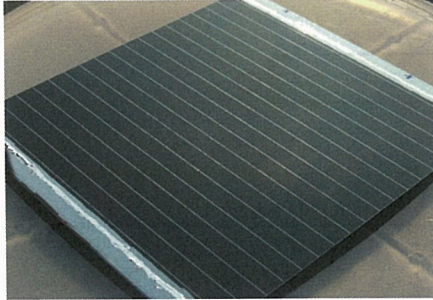
CIGS  
(Showa Shell)

Ploy Si



独立行政法人 産業技術総合研究所

### 15.9% CIGS sub-module



High efficiency CIGS sub-module was fabricated on 10 cm square substrate by co-evaporation method. Moduling process was same as the production process.

( CIGS :  $\text{CuIn}_{1-x}\text{Ga}_x\text{Se}_2$  )



### 17.7% CIGS flexible cell on Ti foil

Novel method to control sodium contents in CIGS layer was developed. Using this ASTL-method, high efficiency CIGS cells were realized on various types of flexible substrate.

## 有機系太陽電池の戦略

- 光化学反応により発電
- 溶液中のイオンがエネルギーを輸送
- バッテリー同様に液漏れ対策必要
- 厚さ  $> 10 \mu\text{m}$

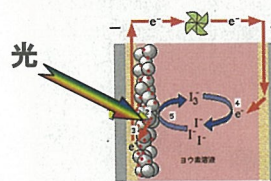
非希少金属、非揮発性電解質

色素増感(有機色素)太陽電池

有機系

有機薄膜太陽電池

TiO<sub>2</sub>を色素で増感した湿式太陽電池



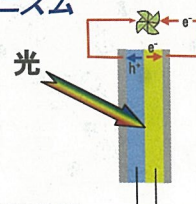
有機分子の半導体性に基づく太陽電池

材料探索、デバイス構造、劣化メカニズム

- シリコンと同様に半導体p-n接合が発電
- 固体中の電子がエネルギーを輸送
- 有機EL素子と類似した有機半導体デバイスの一種
- 厚さ  $\approx 100\text{nm}$ の固体薄膜太陽電池

p型有機半導体薄膜

n型有機半導体薄膜



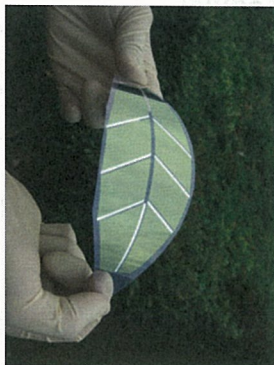


## 新規用途の開拓; 民生分野

- ・『有機薄膜太陽電池の製造技術に関する研究』の一環として、大面積化技術を検証するため、サブモジュールの試作を行った。
- ・有機ELディスプレイの量産技術として確立されている、ドライプロセスに基づく作製法を用いた。



クラスター型有機デバイス製造装置  
(トッキ)



- ・観葉植物型のフレキシブル・サブモジュールを試作し動作を確認した。
- ・意匠性に優れた太陽電池として各種展示会などで注目。新たなニーズ開拓へ。

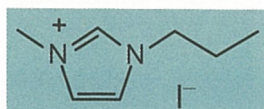
※本研究開発における成果は、三菱商事(株)、トッキ(株)との共同研究によるものです。

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 色素増感型の戦略

### 高性能・高耐久性の有機色素増感太陽電池

- **有機色素**  
Ru錯体に比べて資源的制約が少ない  
高光吸収係数、構造の多様性、大量生産性
- **イオン液体電解液**  
難揮発性 → 高耐久性の可能性



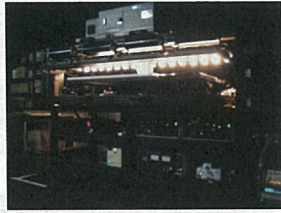
MPlmI

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 評価・システムの戦略

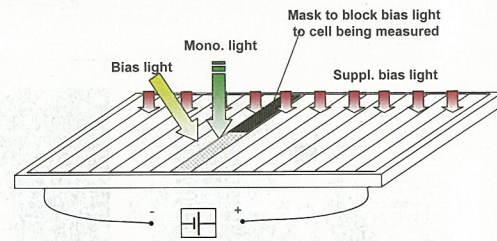
産業基盤の強化による国際競争力の強化と  
PVの普及拡大の加速、安全安心の提供

モジュール内セルの分光感度の測定  
SR measurements of cell (module)

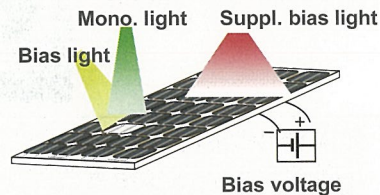


STC, STC外での性能評価 (Si,  
多接合, 化合物, DSC)

バイアス光、電圧  
Bias voltage, Bias light



Thin film module



Crystalline silicon

独立行政法人 産業技術総合研究所

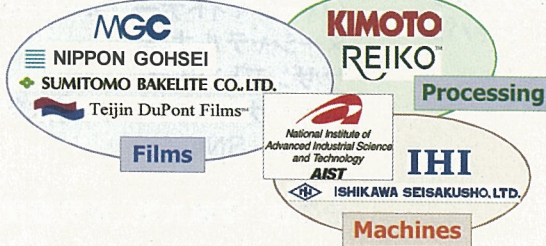
## 安全安心で大量普及を加速

1. 実性能の可視化; 性能評価、発電量定格  
Outdoor performance, Energy rating IEC61853  
Certified labo. IEC17025
2. 故障、不具合の診断、評価、解析とその産業界への還元  
Diagnosis and shooting of troubles and their feedback to industry
3. 高信頼性長寿命モジュール技術、評価技術  
Long term reliability of module, testing, characterization
4. 大量普及に伴う系統への影響の評価; 均し効果、蓄電効果、ハイブリッド  
Impact on utility grid by large scale deployment of PV

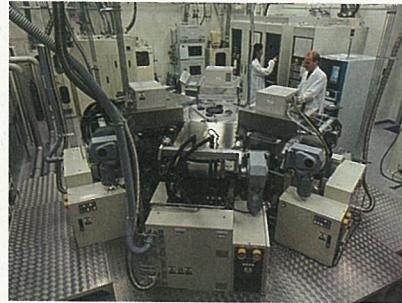
独立行政法人 産業技術総合研究所

# 産業化戦略

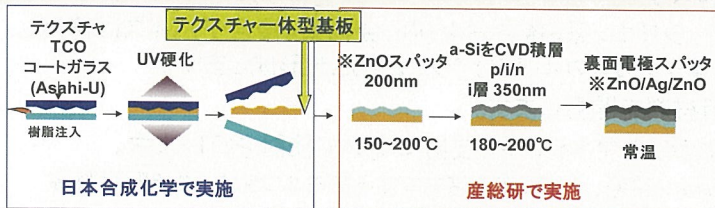
基礎技術の迅速な移転  
オープンイノベーションの実践  
フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム  
Flexible solar-cell substrates consortium



30x40cm<sup>2</sup> PECVD装置



オブザーバー: 石川県工業試験場、太陽電池メーカー  
第1期: 2006.6.1~2008.3.31



※ZnO:Ga<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5.7wt%(ターゲット組成)

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 革新型太陽電池国際研究拠点 40% @2030

International research centers for innovative solar cells (COE program)

## 【拠点②】産業技術総合研究所つくばセンター

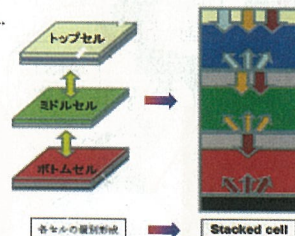
- ・薄膜を積層した多接合型等を開発。
- ・各層で異なる波長の光を吸収し、全体として効率を向上。
- ・三菱重工株式会社等が参加。東京工業大学の研究グループと連携。
- ・欧州の研究所等とも連携。

METI ニュースリリース  
2008 Jul. 2

Stacked multi-junction thin film solar cell  
for low cost and high efficiency

Collaboration with companies,  
universities, and national laboratories.

International collaboration with EU and US  
labs.



多接合型太陽電池  
Stacked multijunction  
solar cell

独立行政法人 産業技術総合研究所

高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発

Exploring novel thin film multi-junction solar cells with highly-ordered structure

共同提案

大阪大学  
九州大学  
東海大学  
東京工業大学  
東京農工大学  
東北大学  
豊橋技術科学大学  
理化学研究所  
物質・材料研究機構

京セラ  
コーニングホールディング  
ジャパン

三菱重工業  
パナソニック電工

研究協力

鹿児島大学  
筑波大学  
京都大学

国際共同研究

ヘルムホルツ協会  
(ハーンマイトナー、ユーリッヒ)  
ヌーシャテル大学  
サザンプトン大学  
ニューサウスウェールズ大学  
NREL、SNL

その他 多数大学、研究機関

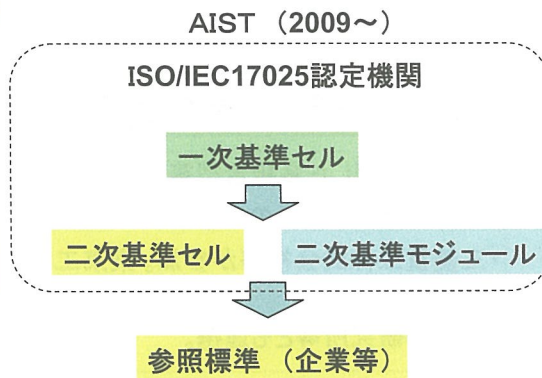
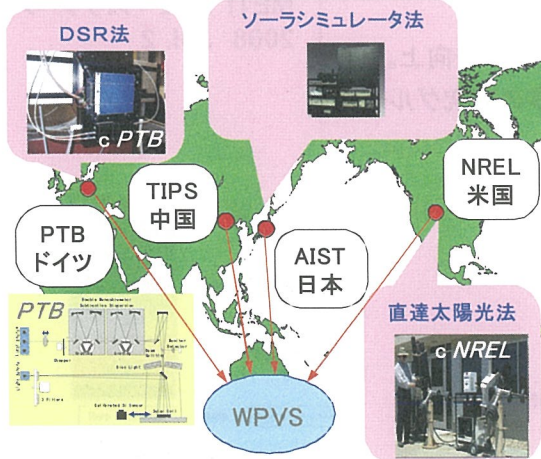
高度秩序構造を有する新材料を、シリコン系3接合および化合物系4接合デバイスに適用し、スマートスタック接合により、2端子メカニカルスタック太陽電池を形成します。

- ・全く新奇な発電機構を有する新材料を開発します。
- ・プラズモン効果や光閉じ込めなどの光マネジメント技術について検討を行います。

高度秩序構造：多結晶、配列制御ナノ結晶、ナノ秩序構造を有するアモルファス、強相関材料等

国際評価拠点 (国内外の連携)

一次基準セル校正機関  
Qualified lab for calibration of primary reference cell



一次、二次基準セルの依頼校正業務  
外部認証機関

Asian partnership with Taiwan,  
Korea, Thailand, India

### 屋外評価拠点 (九州センター)



ラウンドロビン (発電量評価)  
NEDO プロジェクト

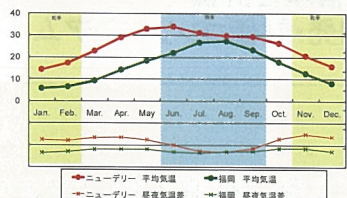
西日本新聞 1月4日

「太陽電池初の評価施設」  
産総研が性能検査 鳥栖に  
今春開設



アモルファスシリコン太陽電池 1,200Wp  
ヘテロ接合型太陽電池 1,680Wp  
多結晶シリコン太陽電池 1,600Wp

屋外で大規模暴露 (200kW)を予定  
種々の太陽電池、屋内加速試験比較  
Outdoor testing for 200kW system



国際共同研究(インド SEC, NPL)  
NEDO プロジェクト



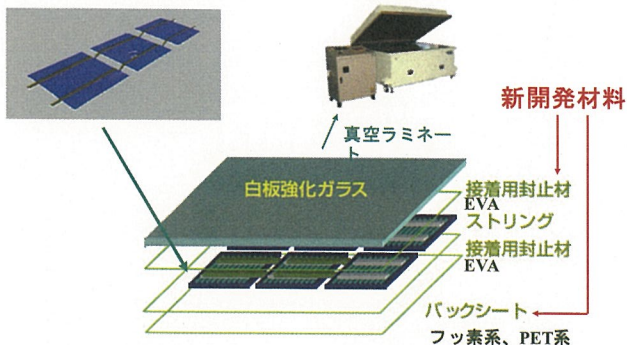
鳥栖サイト我が国平均的な気候を示す地域  
上段右側6台モジュールは、試験開始17年が経過したもの。下段の12台のモジュールは、モジュールが長期使用されたモジュールに発生が疑われる劣化現象の要因となる要因をモジュール製造段階に組み込んだモジュール(平成19年開始)

長期暴露試験 1992~  
JETと共同 NEDOプロジェクト

### 高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム (Consortium on Long-term Reliability of PV module) 新聞報道

結晶シリコン太陽電池のモジュール構造

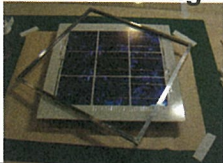
日経産業新聞 1月30日  
化学工業日報 4月22日



屋内耐光試験 Indoor testing



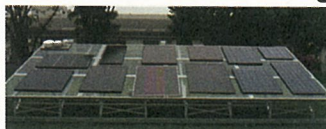
モジュール試作  
manufacturing



複合加速劣化試験  
Accelerated testing



屋外暴露 Outdoor testing



## Summary

1. 太陽光発電技術開発への期待の高まりとセンターの役割
2. センターのミッション  
新材料デバイスの開発、電池評価、システム評価、国際協力
3. 結晶シリコン、薄膜シリコン、化合物薄膜、有機新材料、  
評価・システムの個別戦略
4. 拠点化構想  
革新的基礎研究； COE  
評価； 基準セル・モジュール、屋外評価、信頼性評価  
実用化； 高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム

経済産業省、環境省、内閣府等 政府関係各位  
NEDO、JST  
大学、研究機関各位  
企業各位

のご支援に厚く御礼申し上げます。

## チームの概要

平成21年6月22日 第5回 太陽光発電研究センター成果報告会

# 化合物薄膜チームの概要 —CIGS太陽電池の研究開発—

Research Activities of Thin Film Compound  
Semiconductor Team  
— R&D of CIGS Solar Cells and Modules —

発表者: 仁木 栄  
Shigeru Niki

独立行政法人 産業技術総合研究所

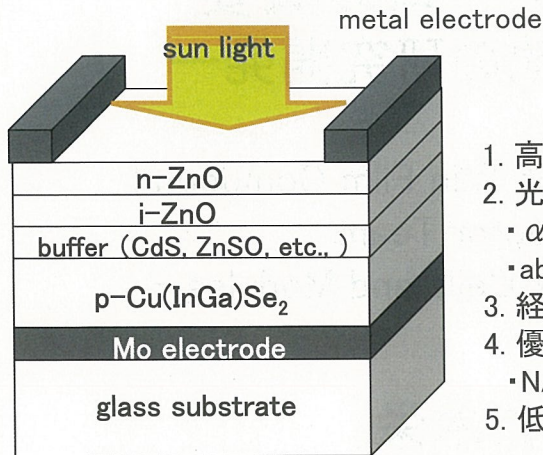
## Content

1. 背景 (background)
2. 小面積セルの高効率化 (small-area cells)
3. 大面積化技術の開発 (integrated sub-modules)
4. フレキシブル基板 (flexible substrates)
5. 省資源化・低コスト化技術 (low-cost)
6. 派生技術 (derivatives)
7. まとめと今後の方向性 (summary)

独立行政法人 産業技術総合研究所



## CIGS太陽電池の構造と特徴 (structure and advantage)



1. 高効率: high efficiency ( $\eta=20.0\%$ )
2. 光吸収係数大: large absorption coefficients
  - ・  $\alpha \sim 10^5 \text{cm}^{-1}$ : 100 times larger than Si
  - ・ absorber  $\sim 2 \mu\text{m}$
3. 経年劣化がない: no degradation
4. 優れた耐放射線性: radiation resistive
  - ・ NASDA人工衛星(つばさ:MDS-1)で実証済
5. 低コスト基板使用可能: low-cost substrate

CIGS solar cells

## 3kW CIGS Module ( $\eta=15\%$ , $20\text{m}^2$ )



Cu: 45g  
 In: 49g  
 Ga: 20g  
 Se: 112g  
 total 226g

同じ効率の太陽電池をシリコンで作製する場合: Si 15kg必要

# 量産化への移行 (commercialization)

## 2007商業生産開始

昭和シェル石油 (20MW)

→ 80MW(2009) → 1GW (2014)

ホンダソルテック (27.5MW)

Wuerth Solar (Germany: 15MW → 30MW)

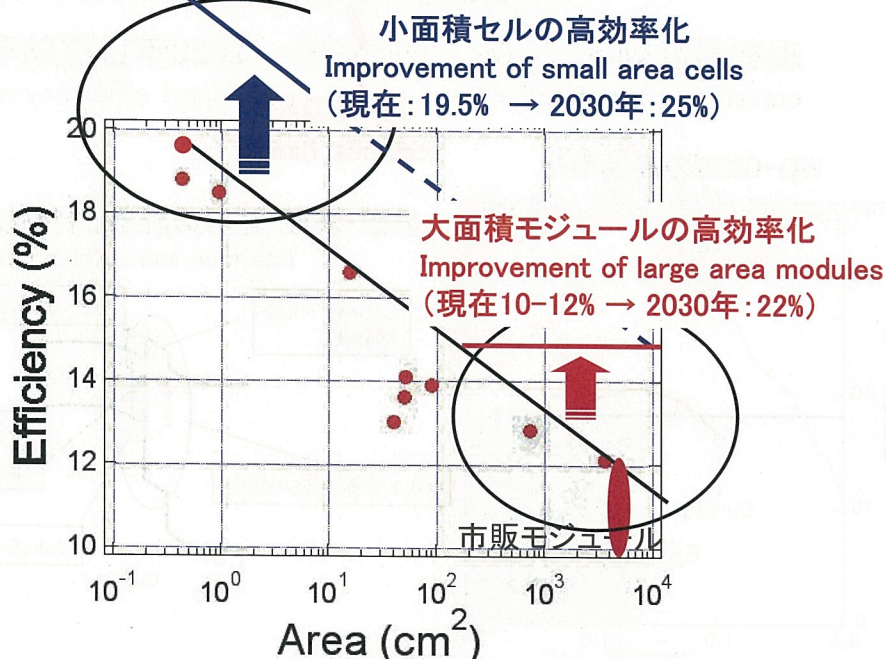
## 2008開始

AVANCIS (Germany)

Solibro (Germany)

ベンチャーも含めたCIGS太陽電池量産化を計画する会社  
計20社以上

# CIGSモジュールの効率と面積 (efficiency vs area)



# 研究の目標 (Objective)

2030年セル効率25%、モジュール効率22%というCIGS太陽電池の効率目標の実現に向けた技術開発を行う。

「高性能なCIGSモジュールを世に出す。」

1. 小面積セルの高効率化: 高効率化のための技術的な指針を明確化する。さらに、CIGS光吸収層の高品質化、新バッファ層の探索、透明導電膜の高性能化を図ることで20%を超える革新的な高効率化技術の開発を目指す。
2. モジュールの高効率化: 変換効率15%以上のモジュールを実現するための技術開発を行う。
3. 省資源化: InやMo等の希少金属や高価な材料の使用量を低減する技術を開発する。
4. 新分野の開拓: 太陽電池研究から派生する新しいデバイスや応用分野の開拓を行う。

## 2. 小面積セルの高効率化 (small-area cells)

主担当: 石塚 (鹿児島大学、筑波大学との共同研究)

現在最高効率: 20.0%  
current record efficiency

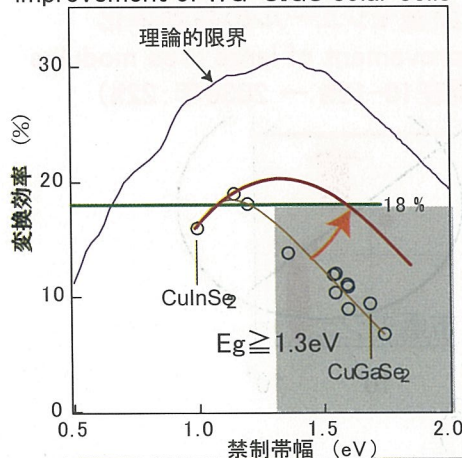


2020年目標効率: 25%  
target efficiency at 2020

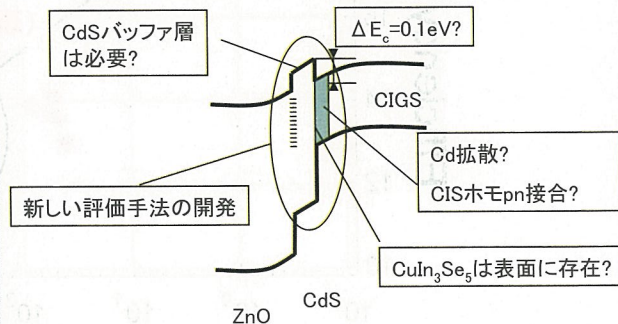
技術の壁  
technical barrier

### WG-CIGSの高効率化

improvement of WG-CIGS solar cells



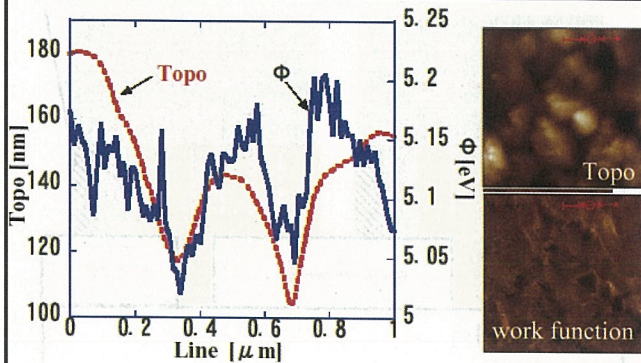
界面・表面・粒界の評価と制御技術の開発  
interface and surface control



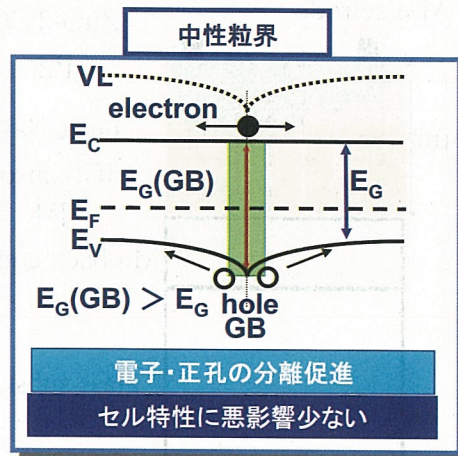
## 2. 小面積セルの高効率化: 成果

CIGS多結晶粒界の評価とモデル化 (鹿児島大学との共同研究)

ケルビンプローブ法による仕事関数の評価



CIGS粒界のモデル



独立行政法人 産業技術総合研究所

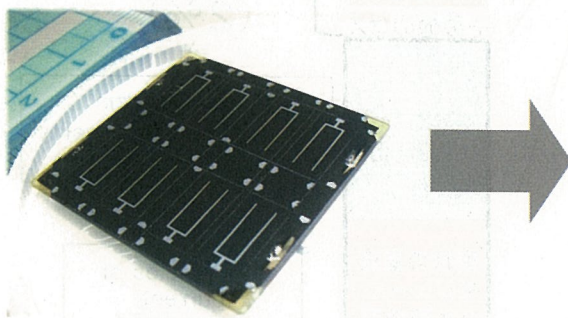
## 3. 大面積化技術の開発

Development of high-efficiency integrated submodules

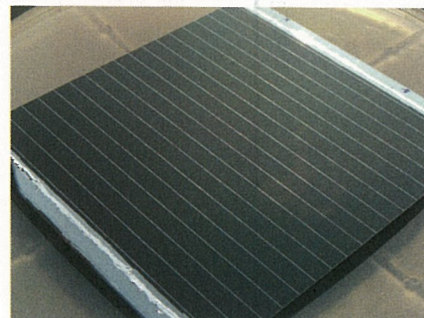
インライン蒸着法と集積化技術の開発

in-line evaporation and integration

主担当: 小牧、吉山、水越、橋本、平田



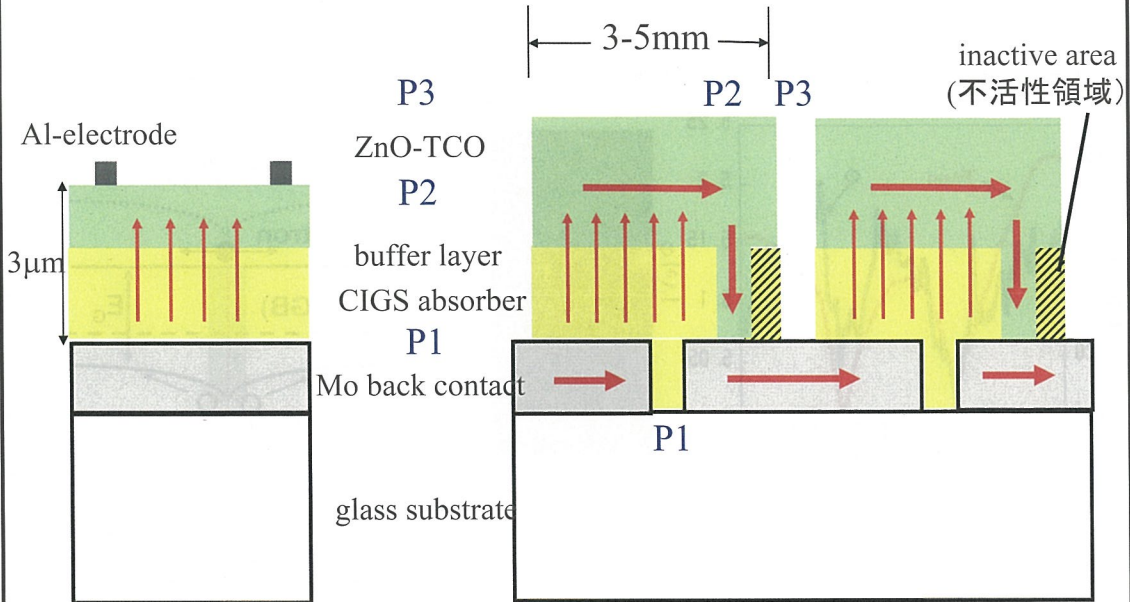
小面積セル (3cm x 3cm)



集積型サブモジュール  
(10cm 角ガラス基板)

独立行政法人 産業技術総合研究所

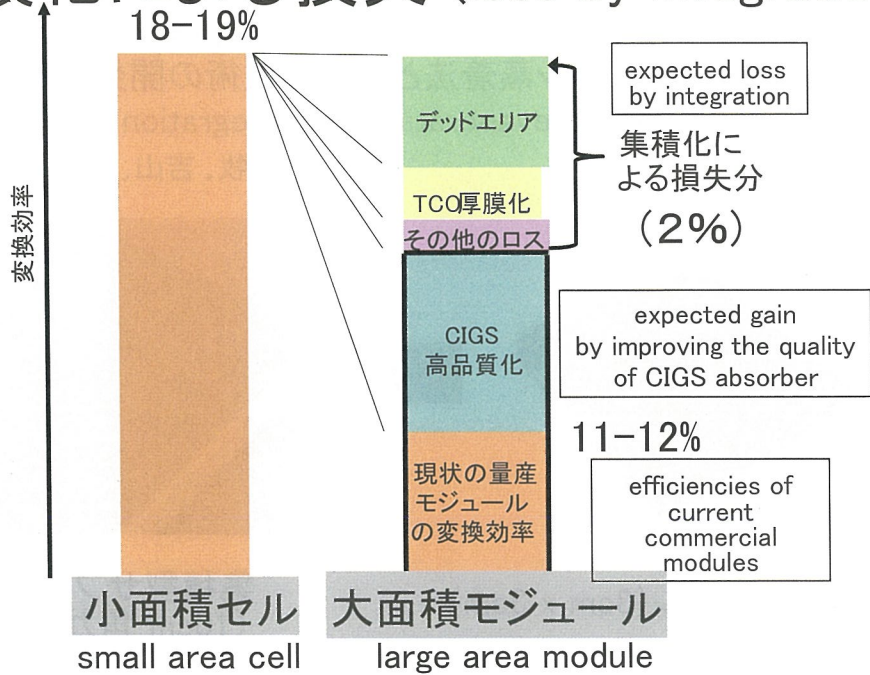
# Cells vs. Integrated Modules



P1 : laser patterning、P2、P3 : mechanical patterning

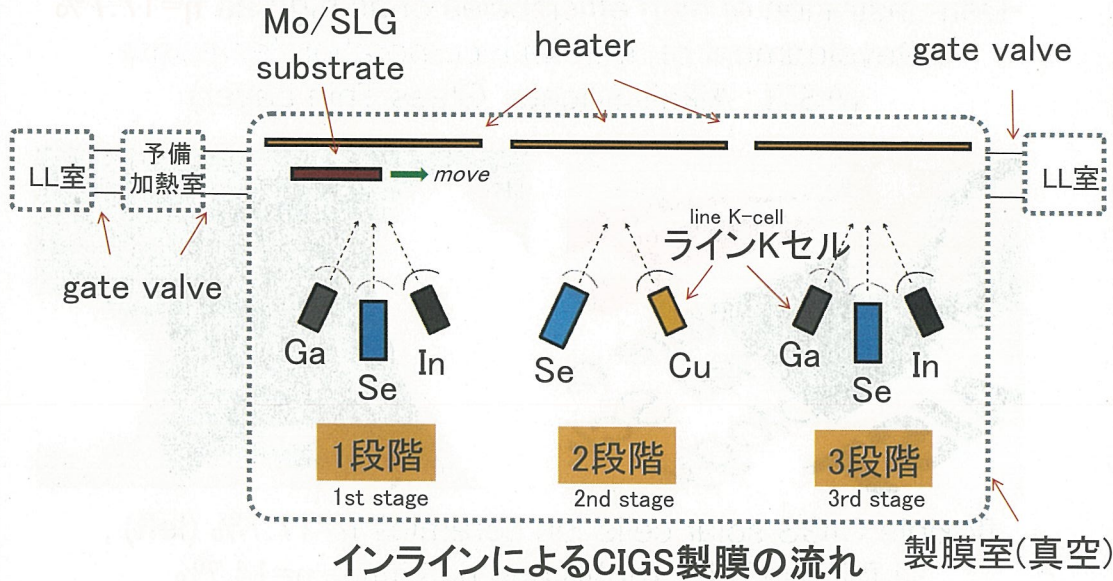
独立行政法人 産業技術総合研究所

## 集積化による損失 (loss by integration)



独立行政法人 産業技術総合研究所

# 多元蒸着法のインラインプロセス化 development of *in-line* evaporation process

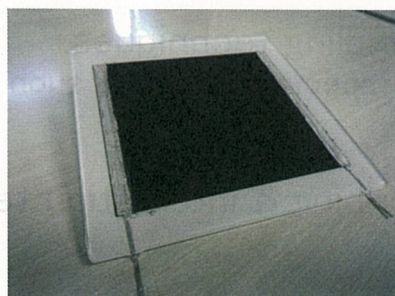
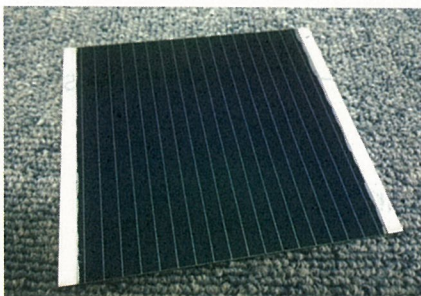


独立行政法人 産業技術総合研究所

## サブモジュール開発の現状

1. 10cm角サブモジュールの高効率化
  - ・膜厚の最適化、集積化技術の高度化
    - アパーチャ効率16%以上を実現
2. CIGSインライン製膜によるサブモジュール作製
  - ・フラックス制御、成長その場組成制御技術の開発
    - アパーチャ効率15.5%以上を実現

(正式測定依頼中)



独立行政法人 産業技術総合研究所

#### 4. フレキシブルCIGS太陽電池の高効率化

Development of high-efficiency flexible CIGS solar cells

- Demonstration of high efficiencies of as high as  $\eta=17.7\%$
- Development of new Na incorporation technique (ASTL: Alkali-Silicate Glass Thin Layer)



flexible CIGS solar cells on ceramics  $\eta=17.7\%$  (left) ,  
Ti-foil  $\eta=17.4\%$  (right) and polyimide  $\eta=14.7\%$

#### Critical issues for developing high-efficiency flexible CIGS solar cells

- ① Choice of appropriate substrate materials
  - matching of thermal expansion coefficients
  - stability at high deposition temperature
- ② Alkali-doping techniques
  - control of the Na incorporation into CIGS layers
- ③ Handling techniques
  - special equipment such as roll-to-roll machines
- ④ Scribing & integration techniques, etc...

### ① Choice of appropriate substrate materials

CIGSの線熱膨張係数(thermal expansion coefficient.)

$$8.6 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} (\parallel c), 11.4 \times 10^{-6} \text{ K}^{-1} (\perp c)$$

主な基板候補材料の線膨張係数。(thermal expansion coefficient.)

基板材料	線膨張係数 [ $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ]	基板材料	線膨張係数 [ $\times 10^{-6} \text{ K}^{-1}$ ]
タングステン	4.3	コバルト	12.4
モリブデン	4.9	金	14.3
炭化ケイ素(SiC)	6.6	銅	16.8
チタン	8.6	SUS304	17.3
ソーダ石灰ガラス	8.3-9	黄銅	19
プラチナ	9	アルミニウム	23
SUS410	10.4	シリコン	24

### ② alkali (Na)-doping techniques

#### 'Na-effects'

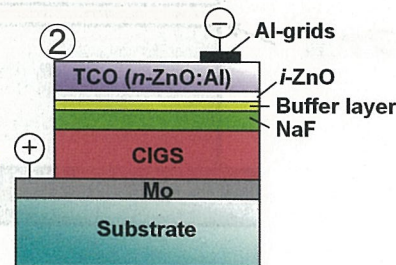
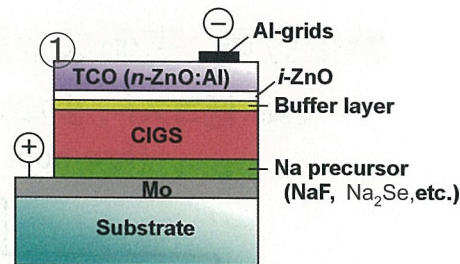
- Enhancement in p-type conductivity of CIGS
- Improvement of  $V_{oc}$ , FF and cell performance

① e.g. J. R. Tuttle, et al., *Proc. 25th IEEE PVSC*, p.1005 (NREL). common technique.

② D. Rudmann, et al., *Appl. Phys. Lett.* 84, 1129 (2004) (ETH). Technique developed by ETH.

Most alkali compounds are very unstable or deliquescent!

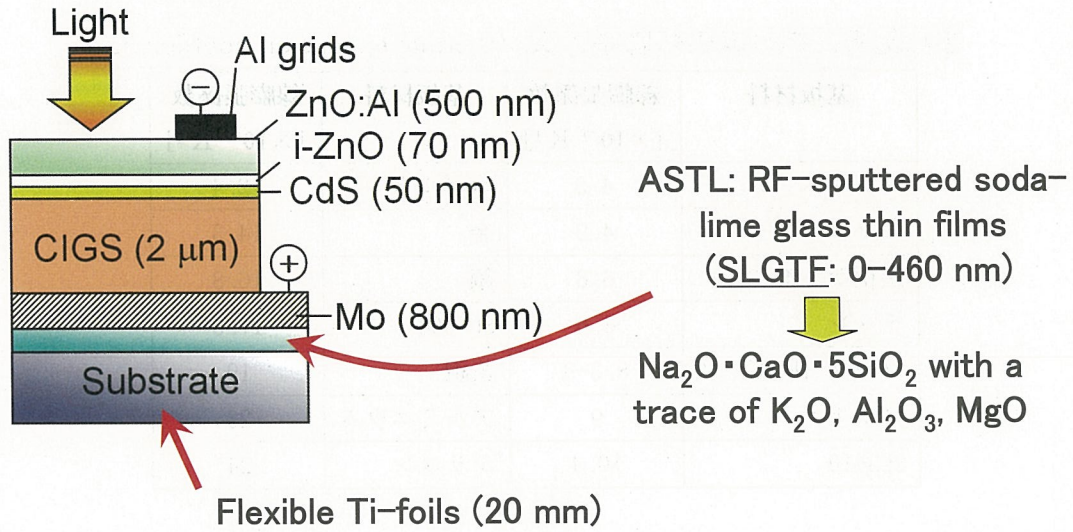
#### Conventional techniques





# ASTL法

— Alkali Silicate Glass Thin Layer Method —



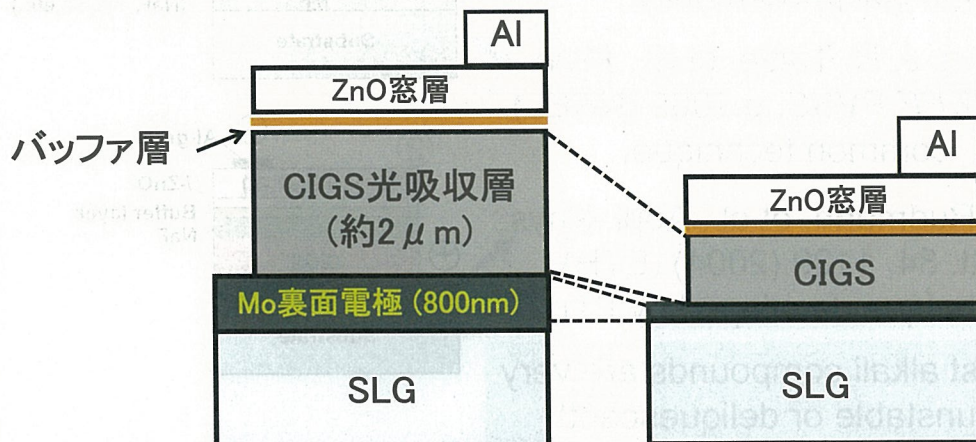
## 5. 省資源化技術

(reduction of use of resources, In and Mo)

主担当: 上川

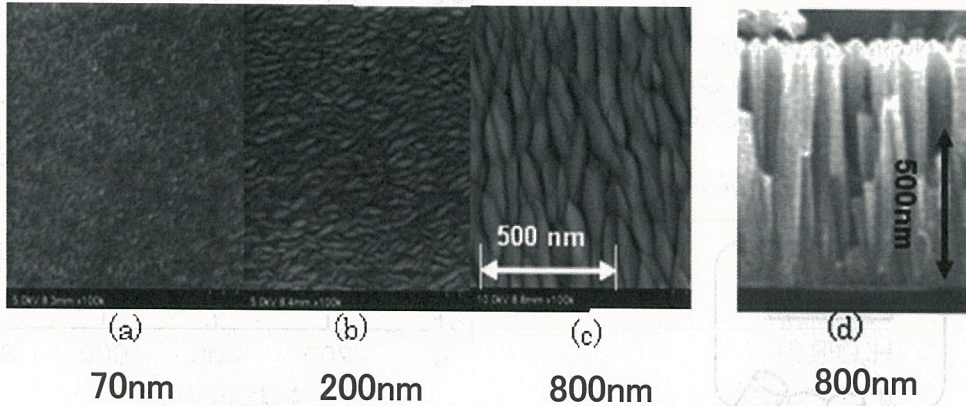
希少金属、高価な金属材料の使用量低減

➡ 低コスト、少ない資源でより多くのエネルギーを生成  
(low cost, more energy for less material)



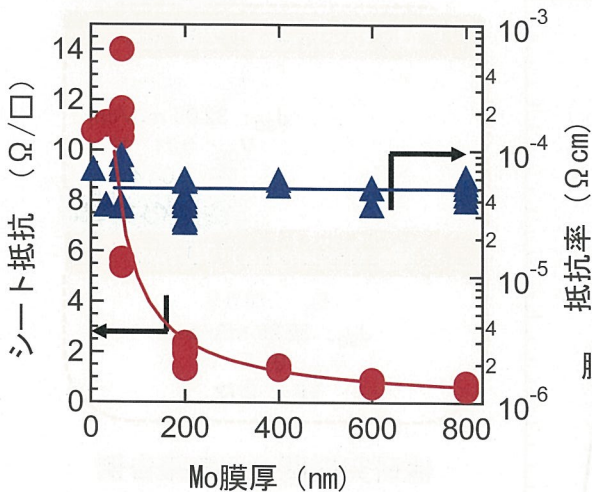
# (1) Mo使用量の低減技術 thinning of Mo back contact layer

## morphology of Mo thin films



Moの結晶粒は歪んだ楕円形、Moが厚くなると粒径も単調に増大

# 電気抵抗率およびシート抵抗のMo膜厚依存性 resistivity and sheet resistance as a function of Mo thickness



シート抵抗はMo膜厚に反比例し、Mo膜厚が薄い領域で急激に増加

Mo製膜条件の最適化

膜厚70nmのMo裏面電極のシート抵抗  
改善前11 Ω/□から5 Ω/□

# CIGS太陽電池の変換効率とMo裏面電極の膜厚

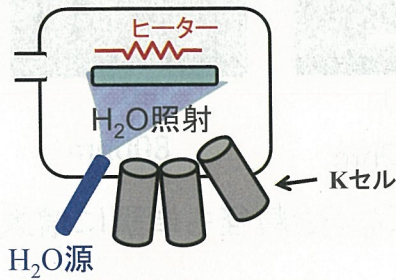
## cell performance as a function of Mo thickness

### 水蒸気照射の効果

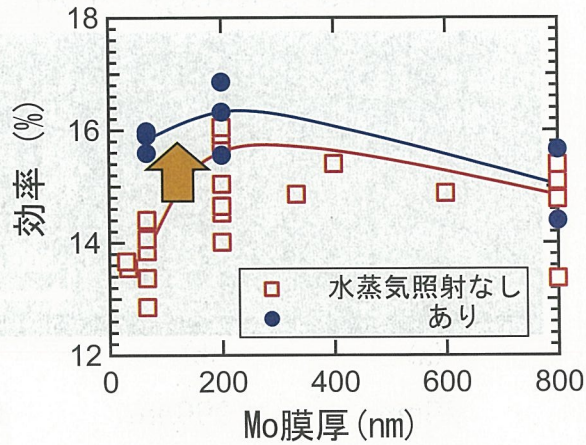
#### effects of water vapor

- Na拡散量の増加
- 伝導率、ホール濃度の増加
- CIGS結晶品質の向上

S. Ishizuka et. al.

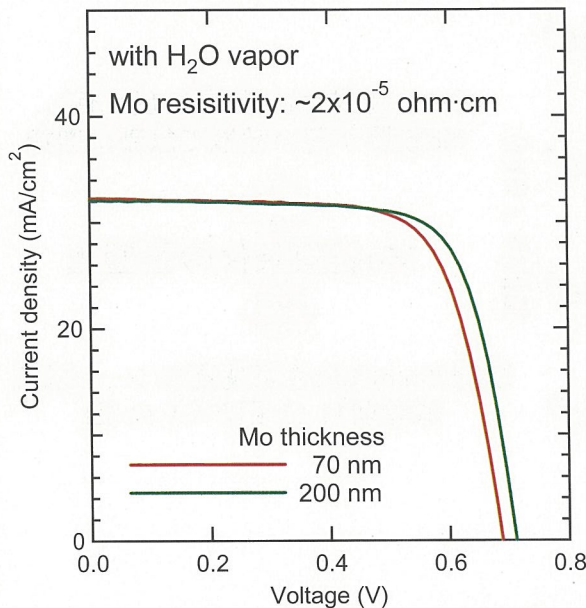


多元蒸着装置へH<sub>2</sub>O導入



独立行政法人 産業技術総合研究所

## I-V特性



従来の1/4

Mo thickness: 200 nm

$E_{ff}$ : 16.9 %  
 $J_{SC}$ : 32.05 mA/cm<sup>2</sup>  
 $V_{OC}$ : 0.71 V  
 FF: 0.74

従来の1/10

Mo thickness: 70 nm

$E_{ff}$ : 16.0 %  
 $J_{SC}$ : 32.26 mA/cm<sup>2</sup>  
 $V_{OC}$ : 0.69 V  
 FF: 0.72

他研究機関からの報告例  
 16.8 % (Mo thickness = 250 nm)

T. Morimoto et. al  
 Proc. of PVSEC-17 (2007)

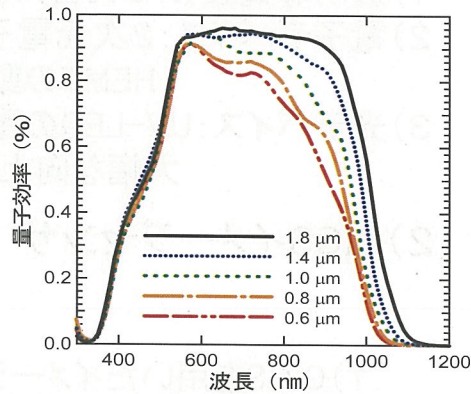
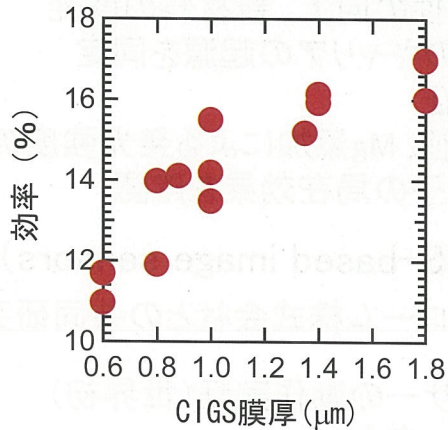
独立行政法人 産業技術総合研究所

## (2) In使用量の低減技術

reduction of use of indium

・CIGS薄膜化  
thinner CIGS,

・In組成の低減  
less In, more Ga

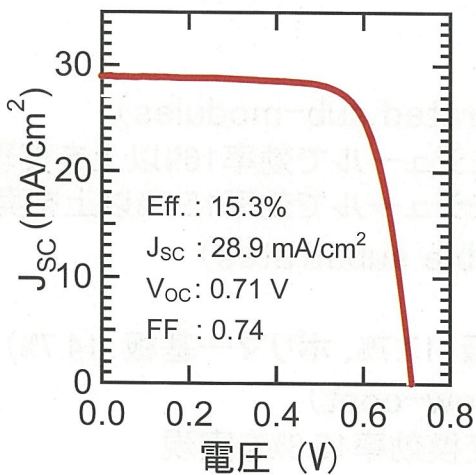


・1 μm以下で変換効率が大幅に低下

・近赤外域での分光感度低下  
・短絡電流の低下

## 薄型CIGS太陽電池の特性

performance of a thin CIGS solar cell



今後の課題

・薄型WG-CIGS太陽電池の高効率化

・光閉じこめ技術の開発

light trapping technique

Mo (400nm)、CIGS膜厚0.8 μm、Ga組成0.42

## 6. 派生技術 (derivatives)

### (1) ZnOワイドギャップ半導体 (ZnO semiconductor)

主担当: 柴田、反保、前島

- 1) 透明導電膜 (ITO代替): 耐環境性の向上、新材料の開発
- 2) 電子デバイス: 2次元電子ガスのキャリアの起源を同定  
HEMTの動作実証
- 3) 光デバイス: UV-LEDの動作実証、Mg添加による発光強度の大幅な向上、励起子の局在効果を確認

### (2) CIGSイメージセンサ (CIGS-based image sensors)

ローム株式会社との共同研究

- 1) CIGSを用いたイメージセンサーの動作実証 (世界初)
- 2) Si-CCDに比べて感度大幅に向上
- 3) 増倍効果により0.001ルクス (星明かり下) でも画像認識

## 7. まとめ (summary)

1. 小面積セルの高効率化 (small-area cells)
  - ・新バッファ層の製膜技術開発
  - ・CIGS多結晶粒界の評価に成功
2. 大面積化技術の開発 (integrated sub-modules)
  - ・市販モジュールと同構造のサブモジュールで効率16%以上を実現
  - ・CIGSインライン製膜によるサブモジュールで効率15.5%以上を実現
3. フレキシブル太陽電池 (flexible substrates)
  - ・新しいNa導入法 (ASTL) の開発
  - ・高再現性と高効率 (セラミクス基板: 17.7%、ポリマー基板: 14.7%)
5. 省資源化・低コスト化技術 (low-cost)
  - ・Mo膜厚400nm、In膜厚0.8  $\mu$ mで変換効率15.3%を実現
6. 派生技術 (derivatives)
  - ・CIGSイメージセンサーで増倍効果を確認

## 今後の課題と方向性 (Future directions)

- (1) 小面積セル (small-area cells)
  - ・開放電圧の向上、新バッファ層の探索
- (2) 大面積モジュール (integrated submodules)
  - ・高品質高速製膜、集積精度の向上
  - ・透明導電膜の高品質化
  - ・信頼性の評価と向上
  - ・技術移転 → 事業化
- (3) 省資源・低コスト化技術 (low cost)
  - ・代替材料の開発、希少金属使用量の低減
- (4) 革新的太陽電池技術の開発 (innovations)
  - ・新材料、新構造

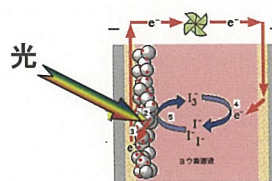
# 有機新材料チームの概要

有機新材料チーム  
 吉田 郵司

# 有機系太陽電池の概要

- 光化学反応により発電
- 溶液中のイオンがエネルギーを輸送
- バッテリー同様に液漏れ対策必要
- 厚さ  $> 10 \mu\text{m}$

TiO<sub>2</sub>を色素で増感した湿式太陽電池

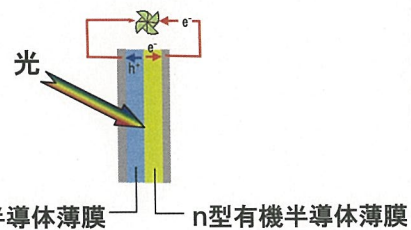


有機系

- 色素増感(有機色素)太陽電池
- 
- 有機薄膜太陽電池

有機分子の半導体性に基づく太陽電池

- シリコンと同様に半導体p-n接合が発電
- 固体中の電子がエネルギーを輸送
- 有機EL素子と類似した有機半導体デバイスの一種
- 厚さ  $\approx 100\text{nm}$ の固体薄膜太陽電池



# 有機太陽電池のごく最近の動き

## 有機薄膜太陽電池

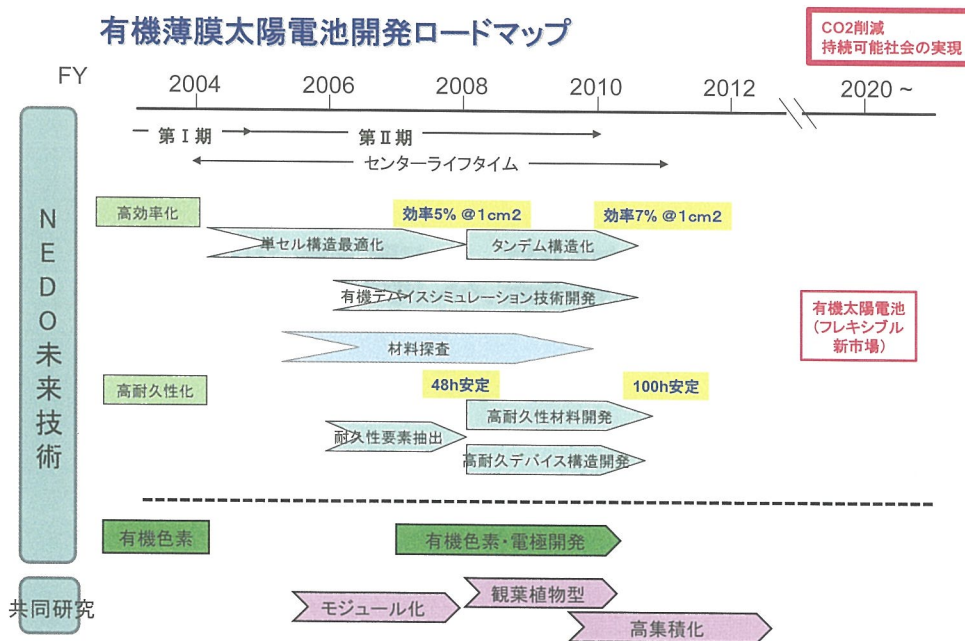
2006.12	Konarka	5.15%	新規ドナー高分子	NREL測定
2009.2	住友化学	6.5%	新規ドナー高分子	
2009.2	三菱化学	4.9%	BP系低分子	2mm角セル
2009.3	東レ	5.5%	新規ドナー高分子	
2009.5	Konarka	6.4%	新規ドナー高分子	NREL測定

## 色素増感太陽電池

2006.3	SHARP	11.1%	Ru-dye	AIST測定
2009.3	Greatzel	12.3%	Ru-dye	

# 研究体制とロードマップ

## 有機薄膜太陽電池開発ロードマップ





## 有機新材料チームの研究体制(2009. 9より)

職員: 5名(3名)  
 ポスドク: 1名(1名)  
 テクニカルスタッフ: 5名(3名)  
 研修学生: 5名(1名)

招聘研究員: 2名(0名)  
 共同研究企業: 6社

技術研修は多数

カッコは新体制以前

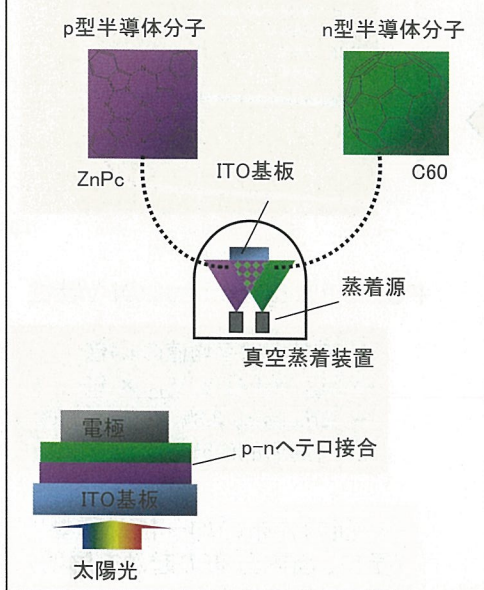


独立行政法人 産業技術総合研究所

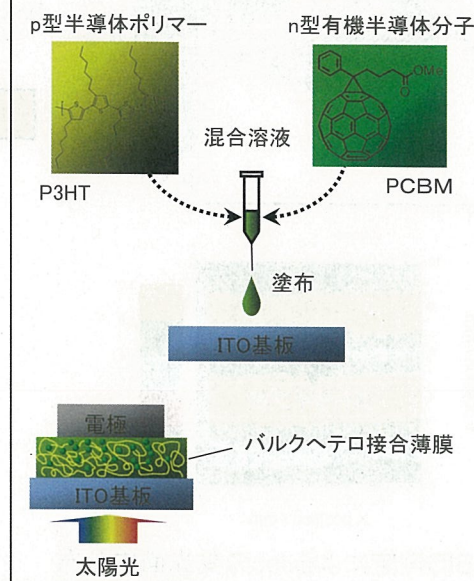
## 有機薄膜太陽電池

# 有機薄膜太陽電池の作製法

## 低分子蒸着系有機薄膜太陽電池



## ポリマー塗布系有機薄膜太陽電池



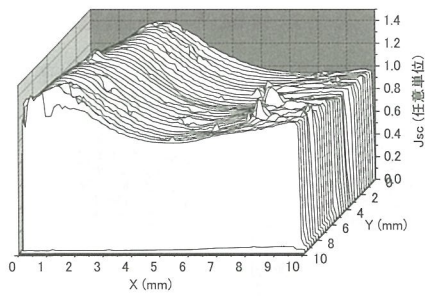
独立行政法人 産業技術総合研究所

# 性能向上のための取り組み

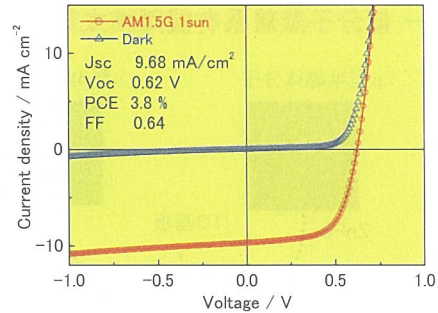
- 多様な分子構造の活用 → 材料探索
- Vocの向上
  - 動作機構の解明・多接合(タンデム)化
- Jscの向上 → 動作機構の解明・高光吸収化
- FFの向上には → ナノ構造制御
- 新材料の導入 → デバイス構造最適化
- 耐久性の向上には → 劣化機構の解明
- 有機材料特有の基礎的な物性評価

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 高分子系ブレンドセルの最適設計の検討: 高効率の可能性

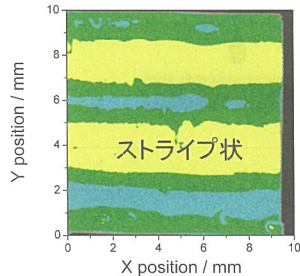


面内分布の  
平均値



PCE:3.8%@1cm<sup>2</sup>セルのI-V特性

J<sub>SC</sub>の最大は平均値の1.4倍  
 →  $[J_{SC} \times 1.4] \times V_{OC} \times FF$   
 → Efficiency 3.8% × 1.4 = 5.3%  
 ;局所的に5%以上



LBIC測定によるJscの受光面内分布

→ 面内分布の均一性が重要  
 (更に、面内分布の起源を解明)

## 大気中・暗所でのセルの安定性に対するバッファ層の影響

- Al電極は酸化されているのか？外側から？内側から？
- PEDOT:PSSはAl電極の酸化を促進しているか？



➢ 本研究では、バッファ層としてPEDOT:PSSあるいは酸化モリブデン(MoOx)を用いたセル、バッファ層を挿入しないセルの3種類のセルの大気中・暗所での劣化挙動を比較検討した。また、Arイオンエッチングによる深さ方向のXPS分析により、Al電極の酸化状態の観測を行った。



PEDOT:PSS

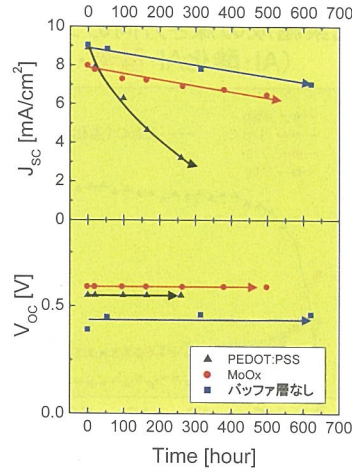
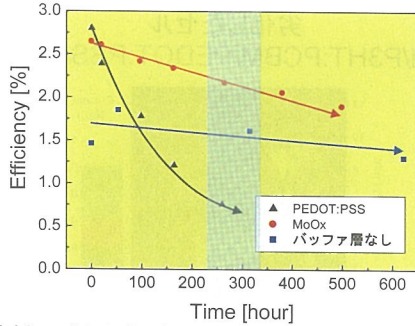


酸化モリブデン(MoOx)



バッファ層なし

# 大気中・暗所でのセル特性の低下



特性の低下傾向:

バッファ層なし < MoOx << PEDOT:PSS

- PEDOT:PSSを用いたセルは初期特性は高いが劣化が早い。

大気中暗所で保存(約300時間)したセルの光起電流分布の比較を行った。

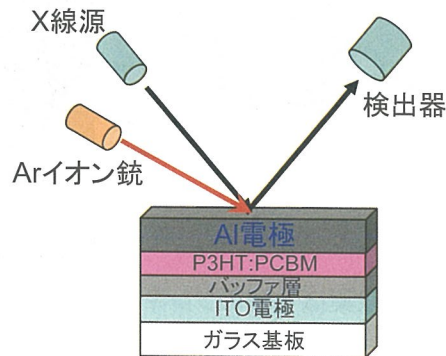
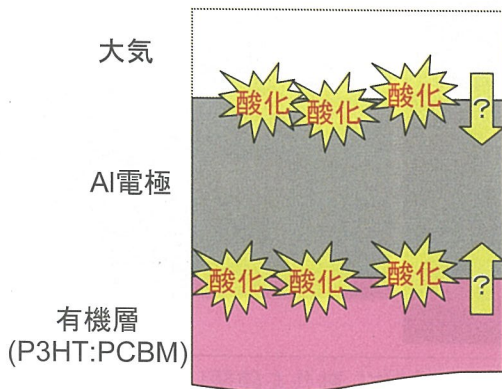
- どのセルでも劣化するパラメータは同じ

  1. V<sub>OC</sub>は一定。
  2. 変換効率の低下はJ<sub>SC</sub>の低下による。

# Al電極の酸化状態の観測

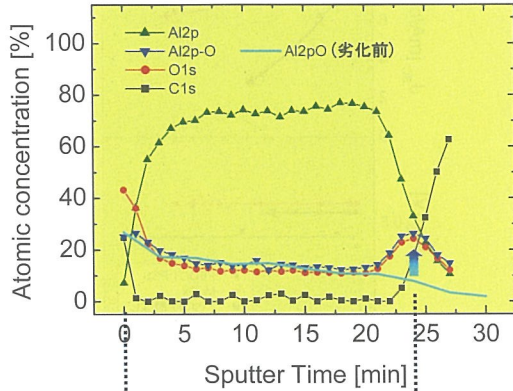
Al電極は内側から酸化されているのか?

- Arイオンエッチングによりサンプルを削りながらXPS分析することで、Al電極の深さ方向の酸化の度合いを調べた。

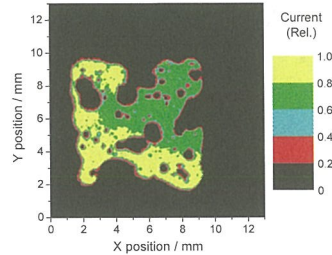


# Al電極の酸化状態 - 劣化セル

元素組成の深さ方向のプロファイル  
(Al・酸化Al・酸素・炭素)



劣化したセル  
Al/P3HT:PCBM/PEDOT:PSS/ITO



- Al電極と有機層(P3HT:PCBM)との界面で酸化されたAlのシグナルが増加した。
- Al電極は内側から酸化されている。



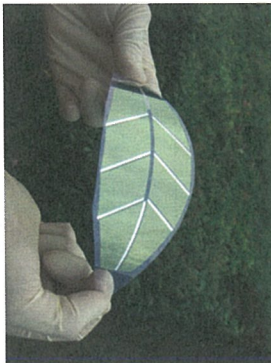
独立行政法人 産業技術総合研究所

# 観葉植物型有機薄膜太陽電池モジュールの開発

・『有機薄膜太陽電池の製造技術に関する研究』の一環として、大面積化技術を検証するため、サブモジュールの試作を行った。  
 ・有機ELディスプレイの量産技術として確立されている、ドライプロセスに基づく作製法を用いた。



クラスター型有機デバイス製造装置 (トッキ)



・観葉植物型のフレキシブル・サブモジュールを試作し動作を確認した。  
 ・意匠性に優れた太陽電池として各種展示会などで注目。新たなニーズ開拓へ。

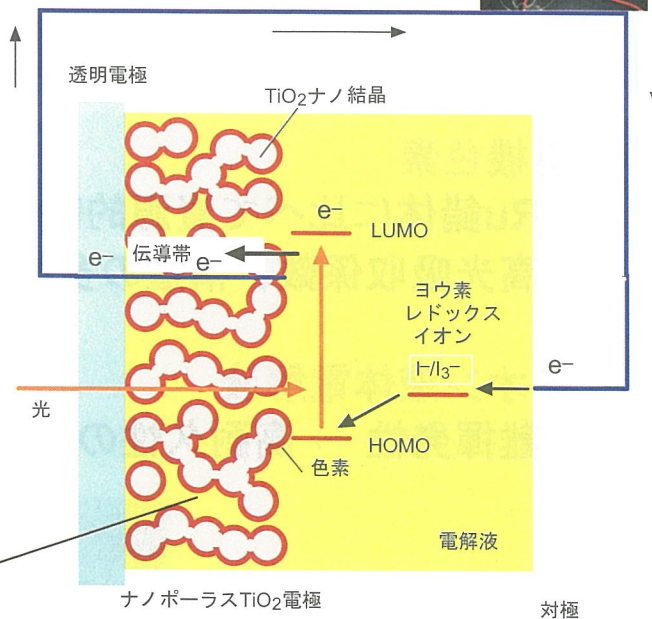
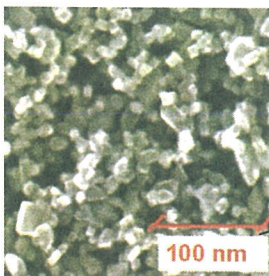
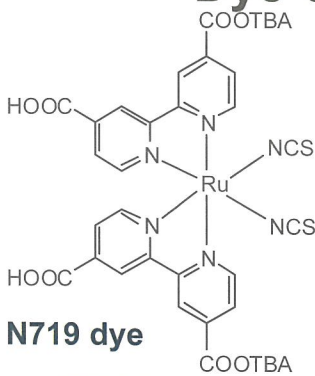
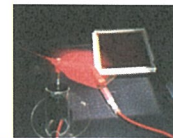
※本研究開発における成果は、三菱商事(株)、トッキ(株)との共同研究によるものです。

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 色素増感太陽電池

## 色素増感太陽電池

### Dye-Sensitized Solar Cell



## 色素増感太陽電池・実用化への問題点

### ○ 貴金属Ruの資源的制約

→ 価格高騰の可能性

e.g., 1 m<sup>2</sup> モジュール (8%) 100万kW → Ru 1.3トン

Ruの需要 19.1 t (2003) → 18.6 t (2004)

(田中貴金属資料)

### ○ 低耐久性

アセトニトリルなどの低沸点有機溶媒の電解液

～11%のセル → 耐久性は期待できない

新しい材料を用いたデバイス開発が必要不可欠

## 問題点を解決するため

### 高性能・高耐久性の有機色素増感太陽電池

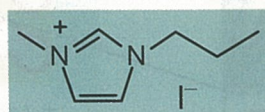
#### ○ 有機色素

Ru錯体に比べて資源的制約が少ない

高光吸収係数、構造の多様性、大量生産性

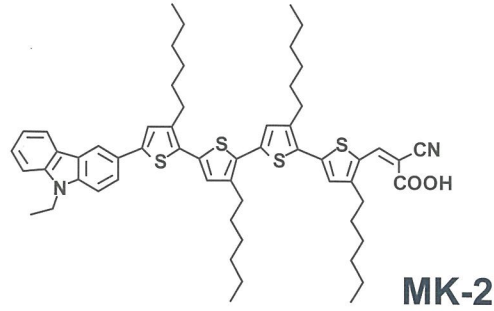
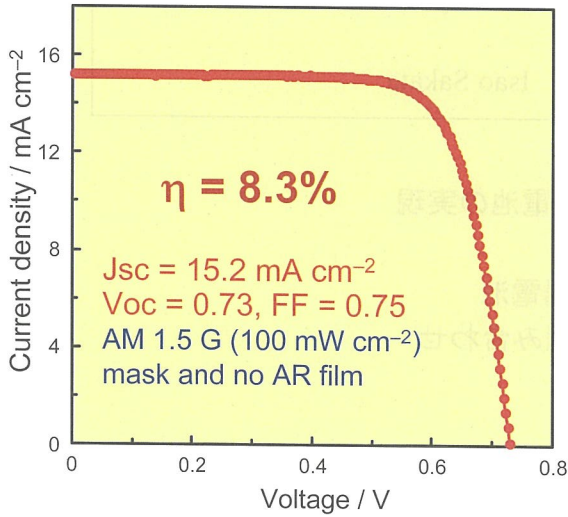
#### ○ イオン液体電解液

難揮発性 → 高耐久性の可能性



MPlmI

# 最高変換効率 (有機溶媒系電解液)



Irradiated light  
 AM 1.5G ( $100 \text{ mW cm}^{-2}$ )  
 with mask, without AR film

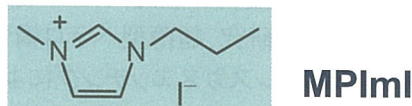
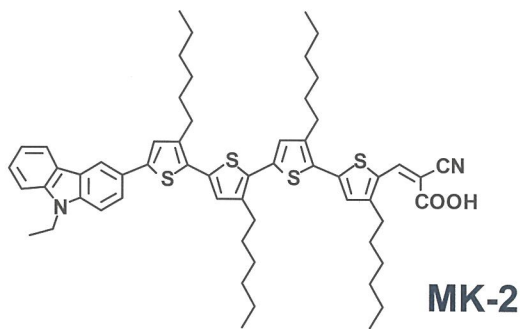
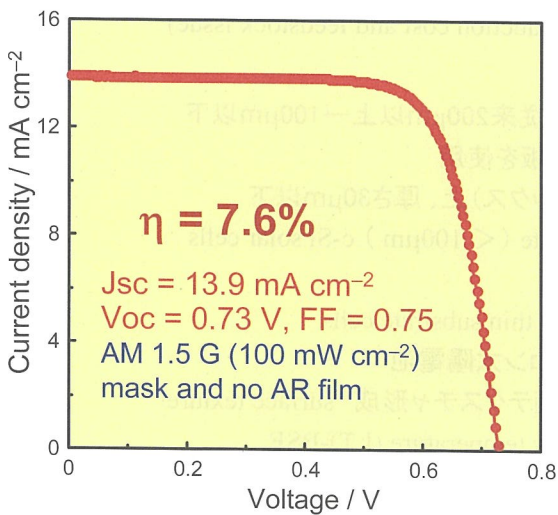
TiO<sub>2</sub> electrode: 16  $\mu\text{m}$

Electrolyte  
 0.6 M DMPImI + 0.1 M LiI +  
 0.2 M I<sub>2</sub> + 0.5 M TBP / AN

$\eta = 9.2\%$  (N719)  
 $J_{sc} = 15.9 \text{ mA cm}^{-2}$   
 $V_{oc} = 0.78, FF = 0.74$

Wang et al., *Chem. Mater.* **2008**, *20*, 3993

# イオン液体電解液 (MK-2)



$\eta = 6.2\%$  (N719)  
 $J_{sc} = 12.2 \text{ mA cm}^{-2}$   
 $V_{oc} = 0.68, FF = 0.75$

Electrolyte  
 MPlmI + 0.4M I<sub>2</sub> + LiI + TBP

Wang et al., *Chem. Mater.*, In press



## 結晶シリコンチームの概要 Recent activities of Advanced Crystalline Silicon team

坂田 功 Isao Sakata

### ・ミッション:

高効率・低価格の結晶シリコン太陽電池の実現

アプローチとしては:

極薄膜・超薄型結晶シリコン太陽電池

希薄窒化物化合物半導体との組み合わせ

### Mission of our team:

Achievement of high efficiency, low cost crystalline silicon solar cells

### Approaches:

Thin film or thin substrate cells

Combination with dilute nitride semiconductors for tandem cells

独立行政法人 産業技術総合研究所

### 超薄型・極薄膜結晶シリコン太陽電池 (Thin film or thin substrate c-Si solar cells)

製造価格の低減、原料供給問題 (lower production cost and feedstock issue)



一つの解決策: 太陽電池の厚さを低減: 従来200 $\mu$ m以上→100 $\mu$ m以下

超薄型: 厚さ100 $\mu$ m以下のシリコン基板を使用

極薄膜: 異種材料基板(例えばセラミックス)上、厚さ30 $\mu$ m以下

solution: thin film (< 30 $\mu$ m) or thin substrate (< 100 $\mu$ m) c-Si solar cells

### 超薄型セル要素技術の開発 technologies for thin substrate cells

#### 1. NEDO受託研究: 超薄型ヘテロ構造シリコン太陽電池

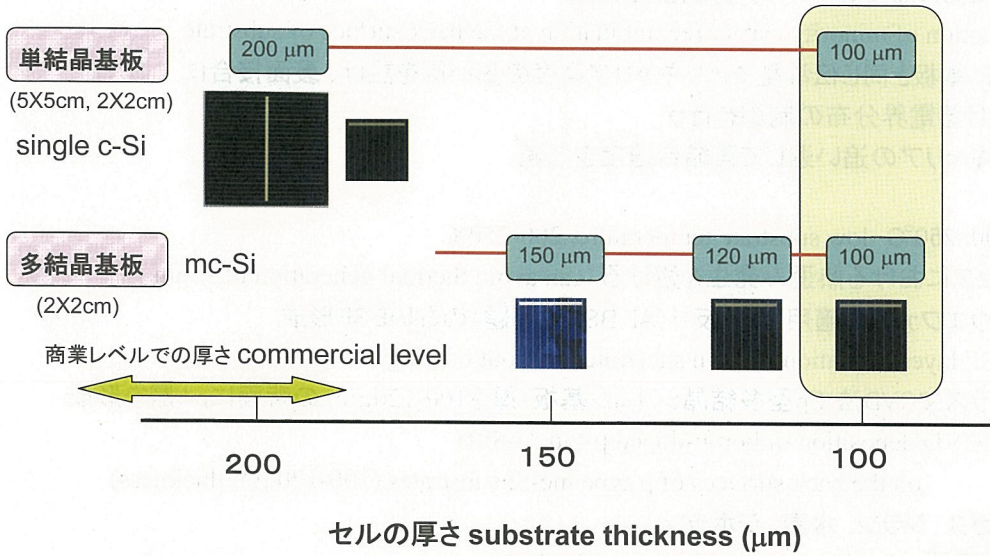
- ・プラズマレスガスエッチングによる表面テクスチャ形成 surface texture
- ・低温Back-surface-field(BSF)技術 low temperature (LT)-BSF
- ・塗布拡散法によるn+エミッタ層形成

#### 2. 自主研究

- ・基板厚さ100 $\mu$ mレベルのセル: 従来型技術の延長上でどこまで可能か?

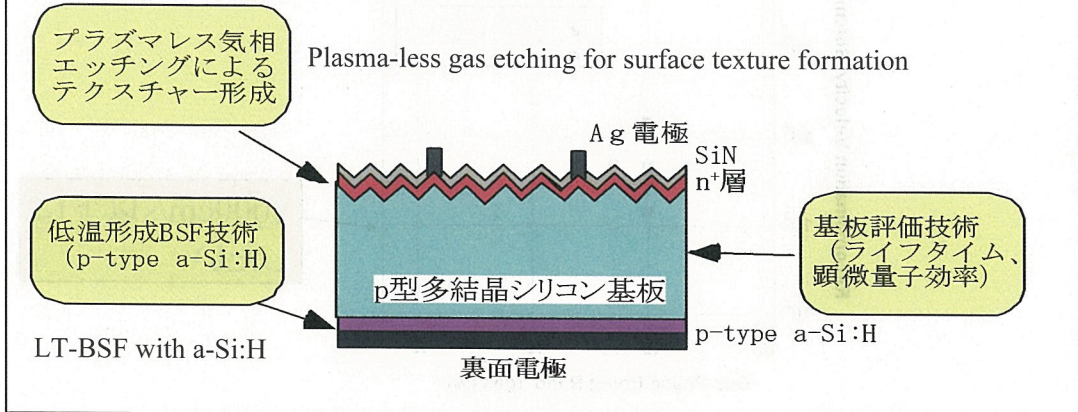
独立行政法人 産業技術総合研究所

結晶シリコンチームで作製しているセル  
Thin substrate c-Si cells developed in our team



超薄型結晶シリコン太陽電池 2006年度～2008年度

多結晶界面制御型太陽電池の研究開発



NEDO contract (2006FY to 2008FY): Thin substrate multicrystalline silicon (mc-Si) solar cell

## 低温Back-Surface-Field(BSF)技術 LT(low temperature)-BSF

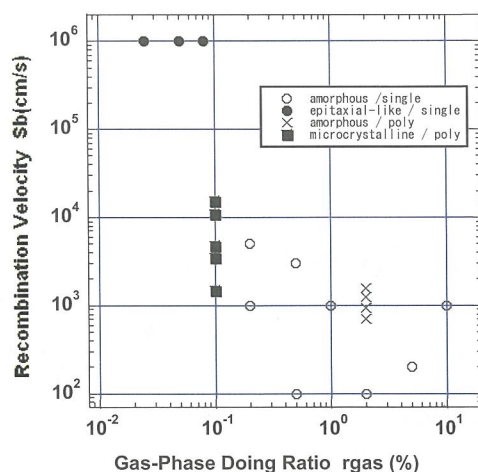
Back-Surface-Field(BSF) :

- ・裏面における少数キャリア再結合の低減  
reduction of minority carrier recombination at the back surface of substrate
- ・裏面に基板と同じ伝導型でよりキャリア濃度の高い層を設け、裏面接合における電界分布の制御を行う
- ・少数キャリアの追い返しで再結合速度を低減

低温 : 200-250°C low substrate temperature: 200-250°C

- ・プロセスにおける熱歪み発生を避ける can avoid thermal generation of strain
- ・薄型ウエファへの適用 ← 反り(AI-BSFの問題)のないBSF形成  
BSF layer formation for thin substrates without bowing
- ・RFプラズマCVD法でp型多結晶シリコン基板(厚さ100-120 $\mu$ m)の背面にp<sup>+</sup>層を形成  
PECVD deposition of boron-doped p-type a-Si:H  
on the back surfaces of p-type mc-Si substrates (100-120  $\mu$ m thickness)
- ・原料ガス: シラン、水素、ジボラン
- ・p<sup>+</sup>層膜厚: 10-60nm layer thickness: 10-60nm

### 裏面(p/p<sup>+</sup>界面)の再結合速度とBSF膜形成のガスドーピング濃度 Back-surface recombination velocities as a function of gas-phase doping ratio



1000cm/s以下にしたい

- ・裏面再結合速度は試作セルの内部量子効率の解析から求めた
- ・1000cm/s以下の再結合速度を200°Cのプロセスで実現
- ・従来のアルミBSFに匹敵、しかも薄型基板で反りが発生しない
- ・単結晶基板でも多結晶基板でも有効

## 低温BSF構造 まとめと課題 LT-BSF summary and issues

### 利点: advantages

- ・多結晶シリコン基板においても有効 applicable to poly-Si substrates
- ・1000cm/s以下の裏面再結合速度  
recombination velocity,  $S_b$ , of less than 1000 cm/s achieved
- ・薄膜(40-60nm)で低温(200°C)形成 thin film(40-60nm) at 200°C
- ・薄型基板での反りが生じない no bowing of thin substrates
- ・単純な構造:スルーホールコンタクトが不要  
through-hole contact not necessary

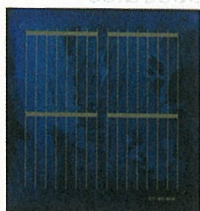
### 課題: issues

- ・多結晶基板では、単結晶基板に比べて裏面再結合速度が、まだ高い  
 $S_b$  of poly-Si cells still higher than those of single c-Si cells origin?
- ・裏面再結合速度は結晶粒界で制限されているのか?
- ・ポロンドープ膜の一層の膜質向上が必要か higher quality of BSF films
- ・再現性の一層の向上 reproducibility
- ・耐熱性向上の余地があるか? heat endurance

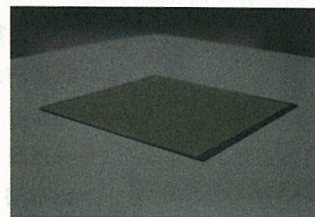
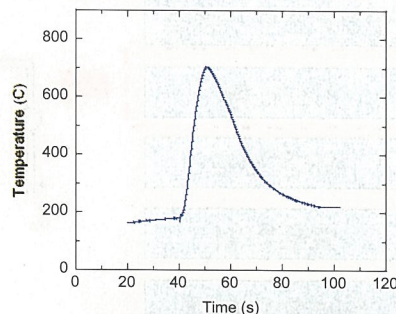
## セル作製プロセス Cell fabrication processes

### ・セル作製プロセス(2cm角)

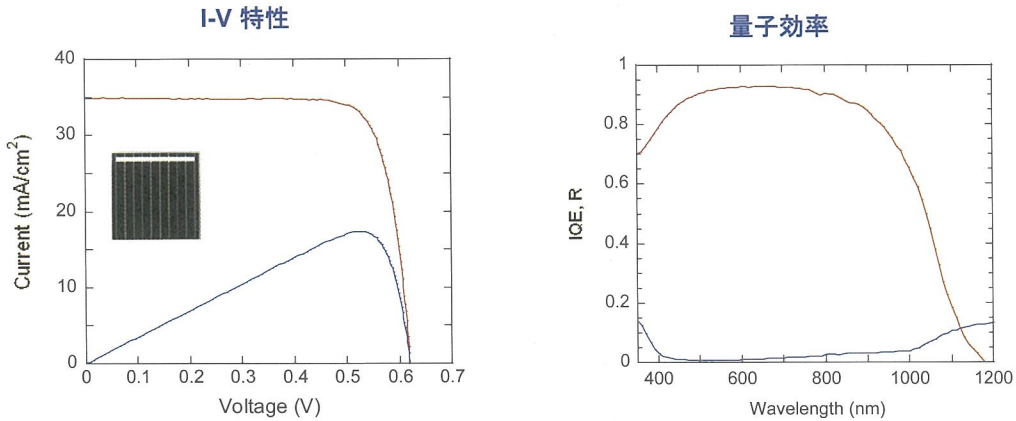
1. ダメージ層エッチング damaged-layer etching
2. テクスチャーエッチング texture etching
3. リン拡散 phosphorous diffusion
4. SiN膜形成 SiN layer deposition
5. 電極形成(表Ag,裏Al スクリーン印刷)  
silver(surface),aluminum(rear) screen printing
6. 両面同時焼成 rapid thermal annealing
7. 2cm角セルに切り出し(ダイシングソー)  
dicing



### ・RTPIによる高速焼成 rapid thermal annealing



厚さ100 μm 単結晶シリコンセルの特性(改良した従来型プロセスで作成)  
 Performance of a 100 μm thick single c-Si cell fabricated by modified conventional processes

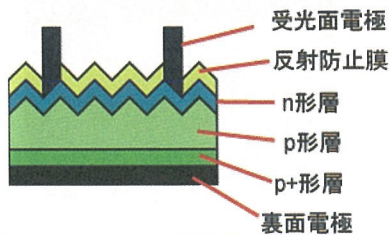
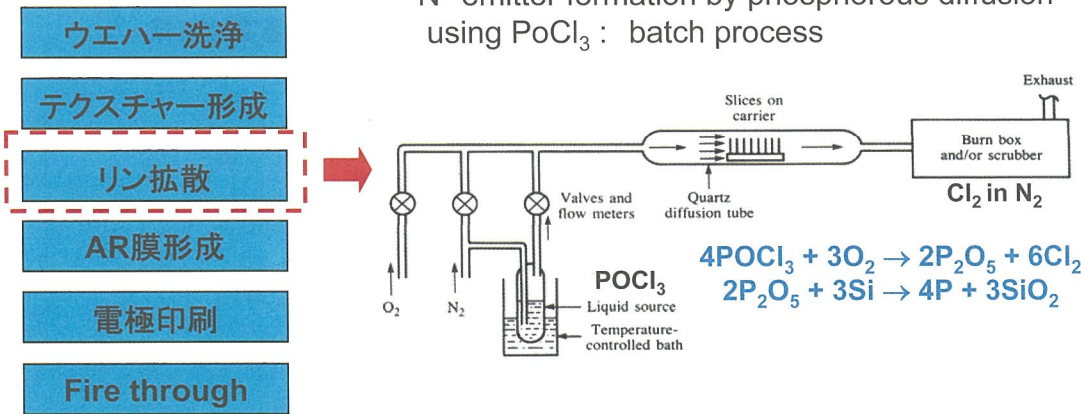


$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	Eff (%)
<b>34.8</b>	<b>0.620</b>	<b>0.802</b>	<b>17.3</b>
( 34.9	0.624	0.798	17.4 (厚さ180 μm)

厚さ100 μmの単結晶シリコンセルで、17.3%を達成。  
 17.3% efficiency for 100μm cell

PoCl<sub>3</sub>を用いたn<sup>+</sup>エミッタ層形成: バッチ式

N<sup>+</sup> emitter formation by phosphorous diffusion using PoCl<sub>3</sub>: batch process

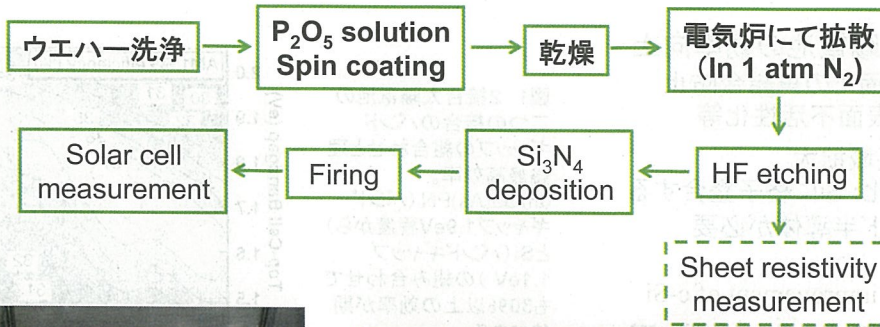


難点: difficulties in thin substrates

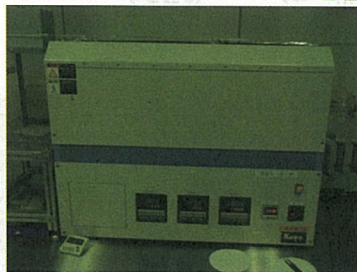
- ◆ラインへの整合性がよくない
- ◆超薄型への対応が難しい
- ◆排気ガスの処理にコストがかかる

塗布拡散によるn<sup>+</sup>エミッタ層形成  
 solution: spray diffusion

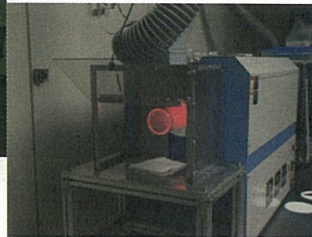
### 塗布拡散のプロセス



Spin coating装置



Hot plate乾燥装置



電気炉

独立行政法人 産業技術総合研究所

### 塗布拡散とPOCl<sub>3</sub>拡散との比較: 同等のセル特性

#### Comparable cell performance between PoCl<sub>3</sub> and spray diffusion

ウエハ	拡散方法	Voc	Jsc	FF	Eff
c-Si	POCl <sub>3</sub>	0.618	38.13	0.762	15.62
		0.618	32.80	0.774	15.67
		0.618	32.94	0.756	15.39
		0.617	33.51	0.747	15.45
	塗布 (W/O O <sub>2</sub> treatment)	0.616	32.38	0.787	15.68
		0.615	32.41	0.781	15.57
		0.615	32.46	0.780	15.57
		0.615	32.31	0.783	15.56
mc-Si	POCl <sub>3</sub>				
	塗布 (W/O O <sub>2</sub> treatment)	0.601	30.63	0.752	13.83
		0.591	30.11	0.736	13.09
		0.595	30.37	0.722	13.04
		0.592	30.27	0.743	13.32

・O<sub>2</sub>処理により溶媒からのC混入を抑制

今後の予定:

- ・種々の多結晶基板への適用
- ・超薄型セル製造工程への適用

Future plan:  
application to various poly-Si substrates thin substrates

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 多接合太陽電池 multijunction solar cells

結晶Si太陽電池の効率向上

- ・表面、裏面での再結合防止  
→BSF、表面不活性化等
- ・吸収波長域拡大  
→多接合化: Siに格子整合する  
ワイドバンド半導体が必要

Efficiency improvement of c-Si solar cell → multijunction → combination with widegap material (Eg ~1.9 eV)

図1 2接合太陽電池の二つの接合のバンドギャップの組合わせと理論最高効率。(In)Ga(As)PN (バンドギャップ1.9eV程度から)とSi(バンドギャップ1.1eV)の組み合わせでも30%以上の効率が期待できる。

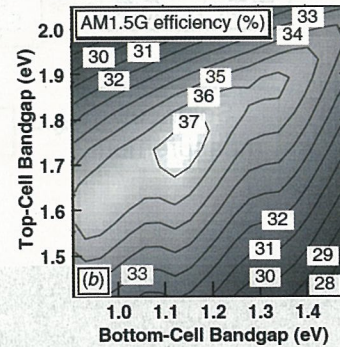


表1 種々の多接合太陽電池構造の提案

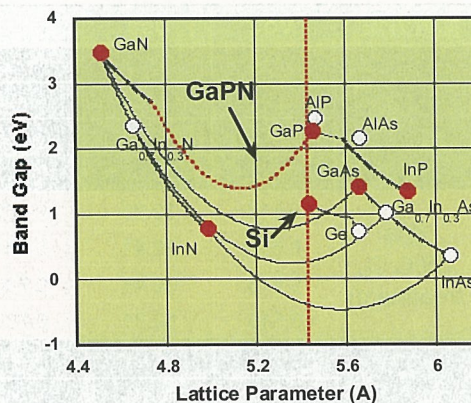
Maximum projected (achieved) efficiencies (%) for multijunction solar cells at 300 K.					
Junctions	Materials	Band Gap	AM0	AM1.5	AM1.5
			1 sun	1 sun	500 sun
2	GaInP/GaAs	1.8 eV/1.4 eV	31.4	35.1	38.1
2	GaNPAs/Si	1.7 eV/1.1 eV	33.8	37.4	43.8
3	GaInP/GaAs/Ge	1.8 eV/1.4 eV/0.7 eV	34.6 (29.3)	38.6 (31.0)	44.2 (32.1)
3	GaInAsP/GaInNAs/Ge	1.70-1.85 eV/1.20-1.25 eV/0.7 eV	37.3	40.5	47.3
3	GaInP/GaAs/GaInNAs	1.8 eV/1.4 eV/1.0 eV	39.0	43.4	48.9
3	GaNPAs/GaAs/Si	1.8 eV/1.4 eV/1.1 eV	36.6	40.6	47.0
4	GaInP/GaAs/GaInNAs/Ge	1.8 eV/1.4 eV/1.0 eV/0.7 eV	39.1	40.5	51.0

J F Geisz and D J Friedman, Semicond. Sci. Technol. 17, 769 (2002).

### III-V-N系半導体

- ・Siに格子整合する、種々のバンドギャップを有する材料がIII-V窒化物で実現可能。
- ・GaPN系はワイドバンドギャップ材料となる。
- ・GaPN系は、燐組成の大きいところで間接遷移である。

### III-V-N系半導体の格子定数とバンドギャップ



GaPN: Siに格子整合する、毒性の強い元素を含まないワイドバンドギャップ半導体

↓  
タンデム化によるシリコン太陽電池の一層の高効率化

GaPN: lattice matches to Si with [N] of 2%, wide band gap of more than 1.9 eV suited for the combination with Si

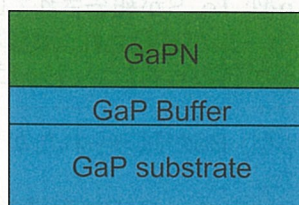
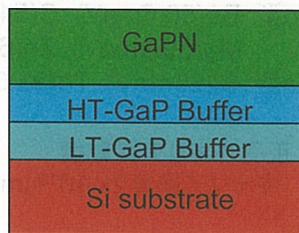
# 実験 Experiments

## GaPN薄膜成長

- ・MBE成長 RF-MBE growth of GaPN
- ・2段階GaPバッファ層 for Si基板  
初期低温成長層-300C-100nm
- ・Normal GaPバッファ層 for GaP基板

GaP(100)substrate,Si(100)substrate  
 Tsub: 400-600C  
 RF power: 200W (typical)  
 V/III ratio: ~10  
 N2 flow rate: 0.1-0.2 sccm

## 試料構造

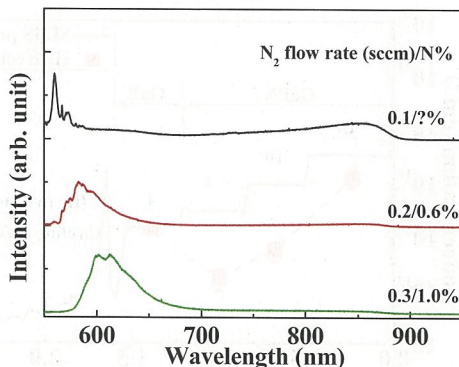
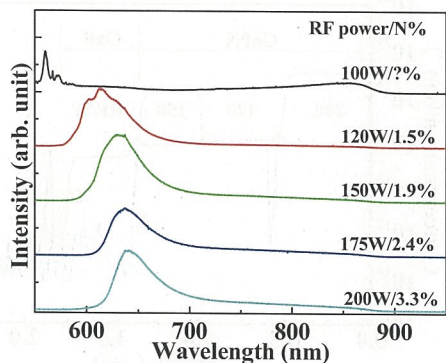


2-step buffer layers for GaPN on Si  
 Normal GaP buffer for GaPN on GaP

## 評価 characterization

- ・RHEED
- ・窒素組成: XRD
- ・光吸収係数: 光透過・反射スペクトルから  
optical absorption
- ・Internal photoemission

## 窒素濃度によるGaPN薄膜のフォトルミネセンス(PL)の変化 Photoluminescence of GaPN films as a function of nitrogen content (900°C/1min annealed)



- ・窒素濃度の増加に伴い、GaPN由来のPLピークは長波長(低エネルギー)側へシフト
- ・GaPN由来の巾の広いPLピーク  
→ 窒素クラスター形成による伝導帯端での裾準位の形成

Broad PL peak around 600-650nm can originate from nitrogen cluster in GaPN



### GaPNへのドーピング Doping to GaPN

#### GaPの物性 Properties of GaP

1. ドーパントの不純物準位  
 p型: Be(56.6meV), C(54.3meV), Mg(59.9meV), Zn(69.7meV)  
 n型: Si(85meV), Te(92.6meV), S(107meV)
2. 正孔キャリア移動度  
 キャリア濃度  $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  で約  $20 \text{cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$

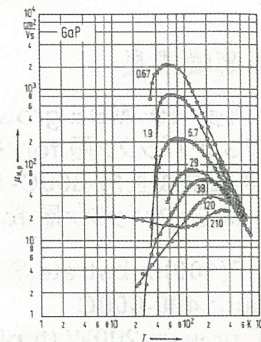


Fig. 59. GaP. Hole Hall mobility vs. temperature in Zn-doped material; the Zn-concentration is given in  $10^{17} \text{cm}^{-3}$  [69C].

#### GaPNのドーピング Doping to GaPN

1. n型: Te, Sが報告されている。但し、表面にピンホールが確認され、薄膜構造が粗くなる。Siが試みられたが、ドーピング効果がなかった。
2. p型: Beが試みられたが、ドーピング効果がなかった。CはGaAs, GaPで実績あり。  
 ⇒ **CBr<sub>4</sub>を導入して、Cによるp型ドーピングの実現**  
**Carbon from CBr<sub>4</sub> as a p-type dopant**

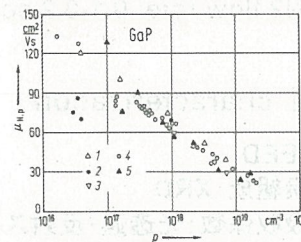
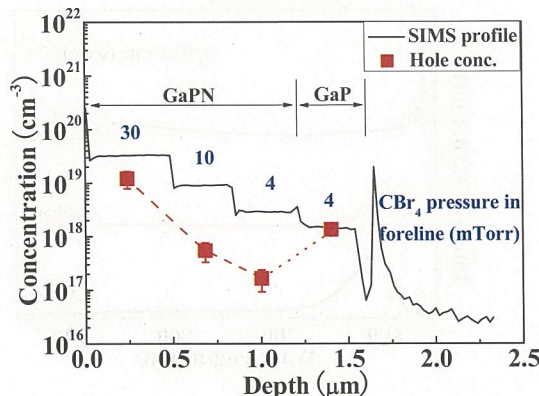


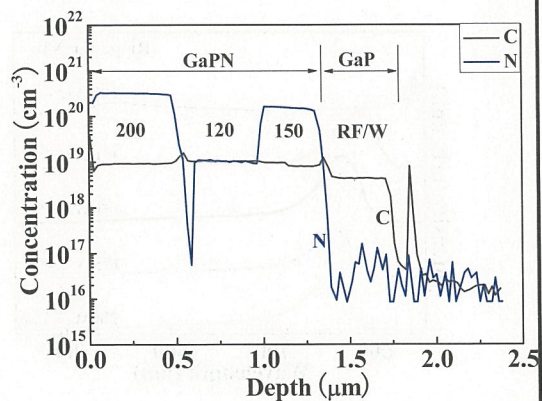
Fig. 60. GaP. Hole Hall mobility vs. hole concentration [75W1]. Experimental data: 1: [69C], 2: [68C1], 3: [70I], 4: [71N], 5: [69T1].

### SIMS分析結果 SIMS results

#### CBr<sub>4</sub>導入量によるドーピング濃度の変化



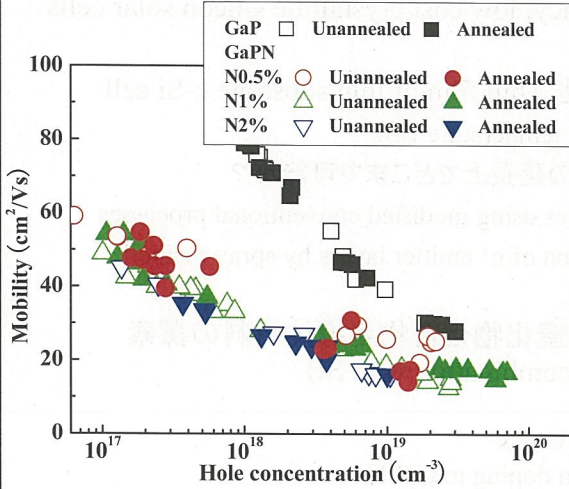
#### NラジカルによるC濃度への影響



- ・同じCBr<sub>4</sub>導入量では、GaPに比べ、GaPN中の炭素濃度は高い。
- ・炭素の活性化率: GaPではほぼ100%、GaPNでは炭素濃度によって変化。炭素濃度が  $10^{18} \text{cm}^{-3}$  台では炭素の活性化率は約5%、炭素濃度が  $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$  では約40%であった。
- ・窒素濃度は変化しても、C濃度への影響がない。  
 activation ratio of C increases with C concentration

### Cドーピングによる正孔濃度 & 移動度の変化

#### Hole concentration vs mobility

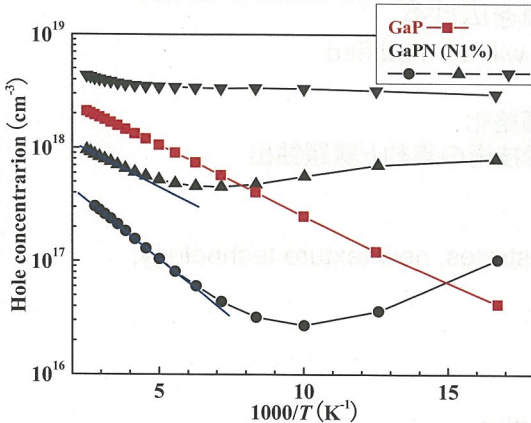


1. 広い範囲 ( $10^{17}$ - $10^{19}$   $\text{cm}^{-3}$ ) で正孔濃度を制御することに成功。
2. 同じ正孔濃度でGaPN中の正孔移動度はGaPの半分程度。
3. N濃度が変化しても、同じ正孔濃度で移動度の変化は見られない。
4. アニール ( $900^\circ\text{C}/1\text{min}$ ) は結晶性の向上に効果があったが、電気特性への影響は見られない。

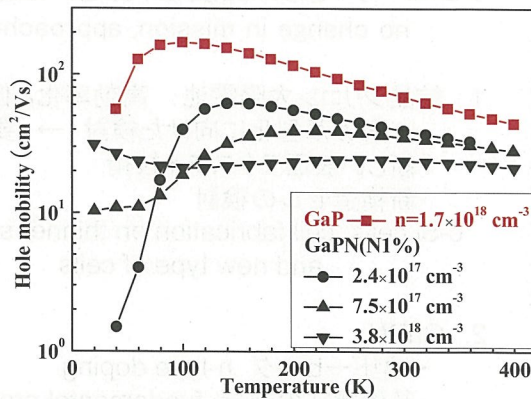
Hole concentration from  $10^{17}$  to  $10^{19}$   $\text{cm}^{-3}$  achieved  
 Hole mobility in GaPN: half those in GaP and independent of [N]

### 正孔濃度 & 移動度の温度特性

#### Hole conc. vs 1/T



#### Hole mobility vs T



室温近辺における活性化エネルギー  $E_A$  :  
 ・中程度のドーピングを行った試料: GaPと大きな差が見られない  
 ・低濃度のドーピングを行った試料: GaPよりやや大きい

正孔移動度の温度依存性:  
 ・GaPと同じ傾向が見られるが、最大値の温度範囲が異なる。  
 ・散乱機構が切り替わる温度が異なる?

## まとめ Summary

1. チームのミッション: 高効率・低価格の結晶シリコン太陽電池の実現  
Mission : Achievement of high efficiency, low cost crystalline silicon solar cells
2. 極薄膜・超薄型結晶シリコン太陽電池 Thin film or thin substrate c-Si cell
  - ・低温Back-surface-field(BSF)技術 low temperature BSF
  - ・厚さ100 $\mu\text{m}$ レベルのセル: 従来型技術の延長上でどこまで可能か?  
performance of cells on thin substrates using modified conventional processes
  - ・塗布拡散による $n^+$ エミッタ形成 formation of  $n^+$  emitter layers by spray method
3. シリコンとのタンデム化に向けた希薄窒化物化合物半導体材料の探索  
GaPN for the tandem solar cell (combination with Si)
  - ・GaPNのフォトルミネセンスによる評価  
Photoluminescence Evaluation of GaPN
  - ・炭素導入によるp型ドーピング Carbon doping to GaPN

## 今後の方針・予定 Near future plan

ミッション: 「高効率・低価格の結晶シリコン太陽電池の実現」は変わらない  
アプローチ: さらに高度化、あるいは観点を広げる  
no change in mission, approaches will be modified

1. 結晶シリコン太陽電池: 高効率化と低価格化
  - ・一層の薄型化に向けた検討 → 要素技術の集約と課題抽出
  - ・新しい表面テクスチャ技術
  - ・新構造セルの検討
 c-Si cells: cell fabrication on thinner substrates, new texture technology, and new type of cells
2. GaPN
  - ・n型ドーピング n-type doping
  - ・基礎物性の把握 fundamental properties
3. 高効率多接合太陽電池用ナローギャップ材料・セルの開発  
2008年度開始 NEDOプロジェクト  
「高度秩序構造を有する薄膜多接合太陽電池の研究開発」
  - ・SiGeのMBE成長と評価 MBE growth of SiGe for solar cells

# シリコン新材料チームの概要

Recent Activities of Novel Silicon Material Team  
 - R&D of Thin Film Silicon Solar Cells and  
 Related Materials -

発表者: 近藤 道雄

Michio Kondo

## 薄膜シリコン太陽電池の大規模普及に向けた太陽電池の高効率化

シリコン新材料チーム 研究開発テーマ

・トリプルタンデム型太陽電池  
 ・a-Si:H/c-Siヘテロ太陽電池  
 ・太陽電池の光閉じ込め技術

・ $\mu\text{c-SiGe:H}$ ボトム層  
 ・高移動度型透明導電膜

材料開発

太陽電池  
デバイス

プロセス技術

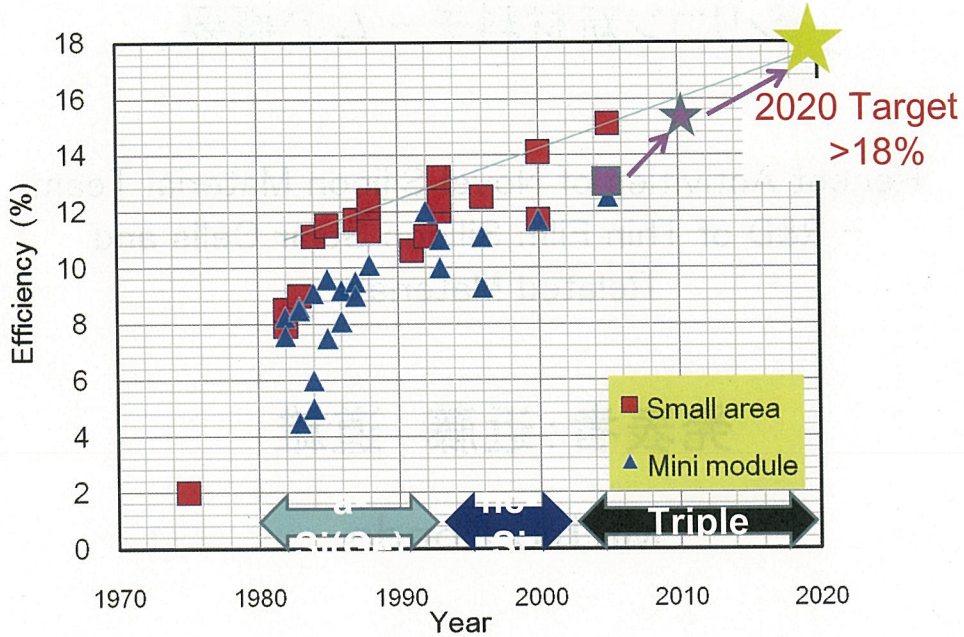
評価技術

・マルチホローカソード  
 (MHC)プラズマ  
 ・マイクロ波放電プラズマ

・成膜プロセスの実時間評価  
 ・プラズマ診断(ラジカル濃度、  
 イオンエネルギー)

新規材料・プロセス技術・評価技術による総合的な太陽電池の研究開発

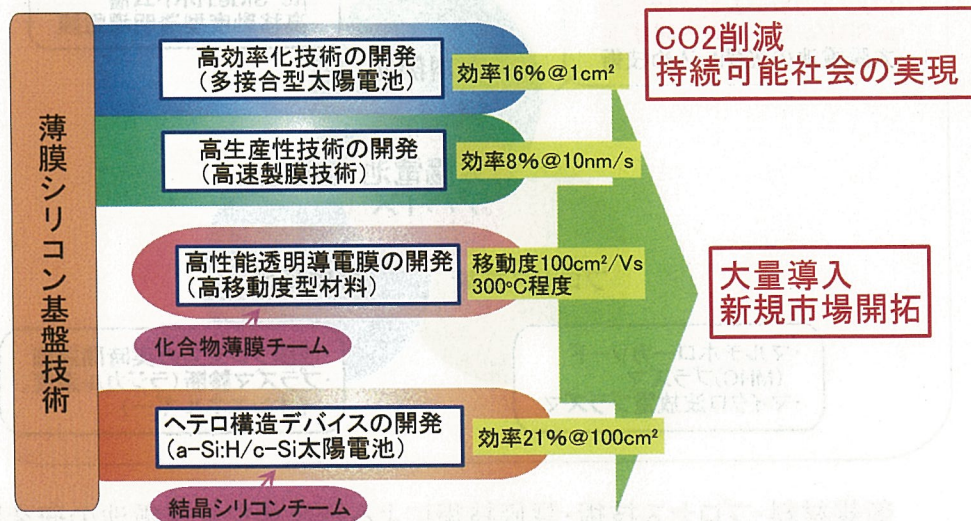
### Efficiency development of thin film Si Solar Cells



独立行政法人 産業技術総合研究所

### 薄膜シリコン太陽電池の開発ロードマップ

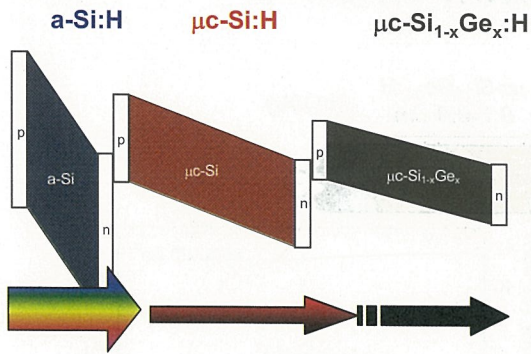
FY 2004 2006 2008 2010 2012



独立行政法人 産業技術総合研究所

# nc-SiGe alloys ; Materials and devices for higher efficiency solar cells

## トリプルタンデム型新構造太陽電池 (triple tandem solar cell)



a-Si/ μc-Si tandem solar cell

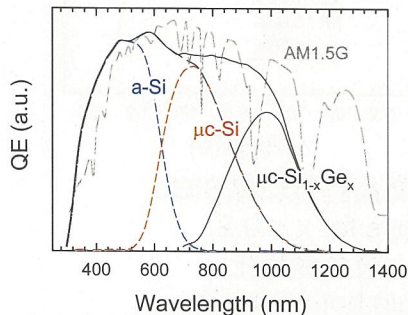
Low absorption coeff.(μc-Si)



μc-Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>

ナローギャップ化により、高い赤外感度を得ることを目指す

Higher IR response

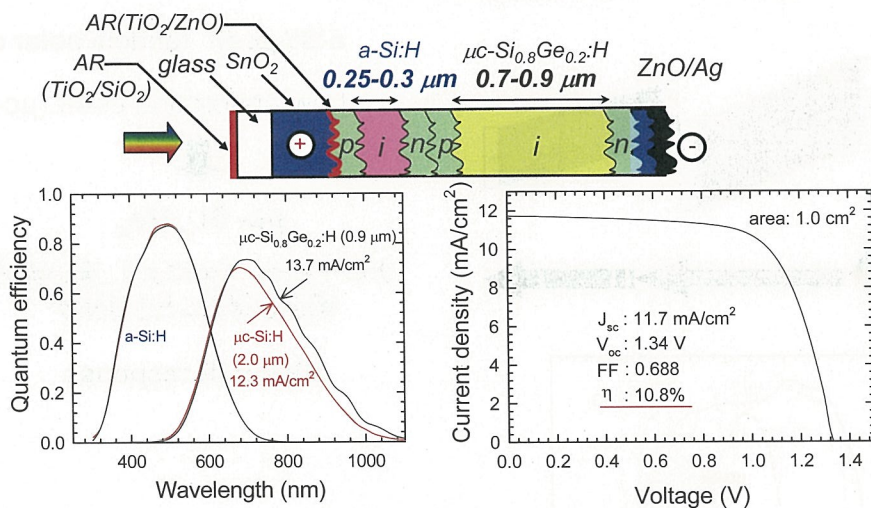


double  $\eta=12-13\%$   $\rightarrow$  triple  $\eta=16\%$   
 $J_{sc}(SiGe) \gg 30 \text{ mA/cm}^2$

### 薄膜シリコン開発課題 (Issues for Thin Film Si)

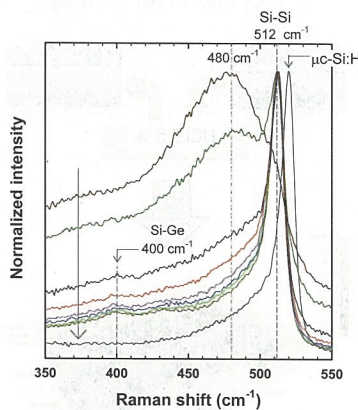
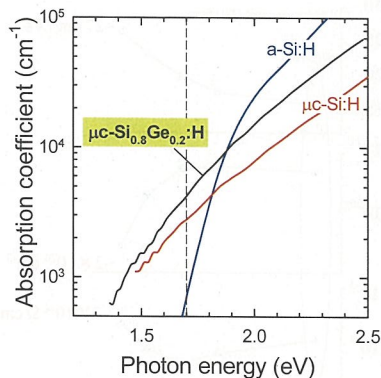
- 高品質  $\mu\text{c-SiGe}$  (High quality material)
- 高速高品質製膜技術 (High throughput process)
- 高透過低抵抗透明導電膜 (High quality TCO)
- 高度光閉じ込め技術 (Light management)

### これまでの研究成果 So far ...



ゲルマニウム濃度20%以下で高品質微結晶SiGe  
 Device grade Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub> alloys for x < 0.2  
 タンデム太陽電池のボトム層の薄膜化  
 Tandem solar cell with a thin bottom layer

### 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ ナローギャップ材料の高品質化 High quality $\mu\text{-Si}_{1-x}\text{Ge}_x\text{:H}$ as a narrow gap material



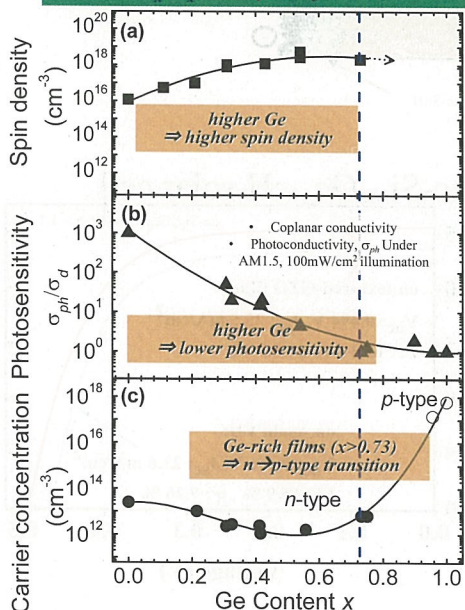
全波長領域で微結晶Siよりも大きい吸収係数  
Larger absorption coefficients than  $\mu\text{-Si:H}$   
over the whole spectral range

**Ge組成20%で $\alpha \sim 1.5$ 倍 @1.7eV  
( $\lambda = 720$  nm)**

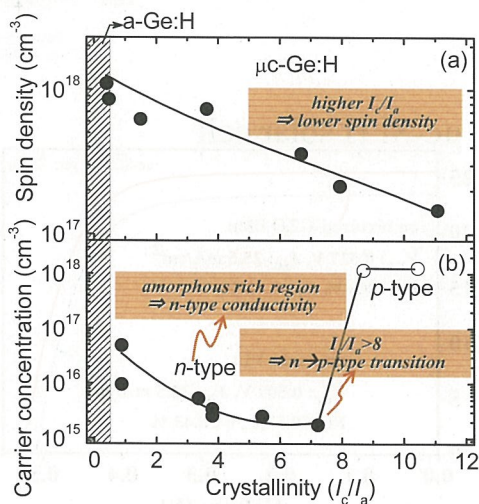
結晶性の制御  
(Control of crystallinity)  
Close to a-/nc- boundary

### $\mu\text{-SiGe}$ の物性 (Material properties)

Spin density and photosensitivity of  $\mu\text{-Si}_x\text{Ge}_{1-x}\text{:H}$  alloy thin films



Spin density and carrier concentration of  $\mu\text{-Ge:H}$  thin films

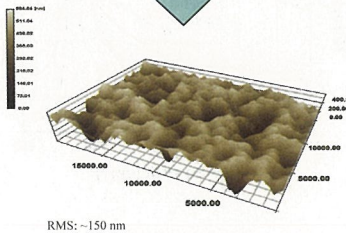
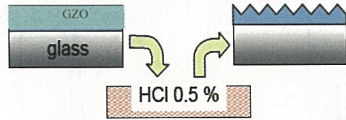


**crystallinity of Ge is essential**



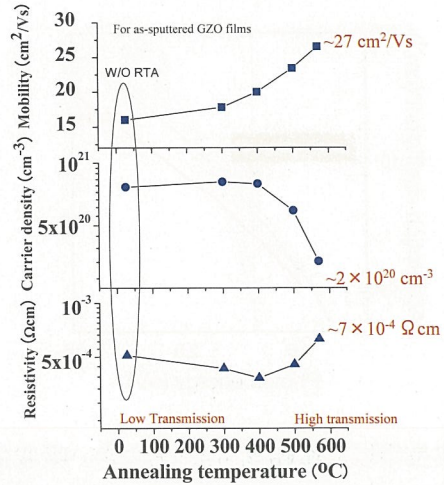
High performance TCO; Rapid thermal annealing of ZnO;Ga films

Wet chemical etching



High Haze >45 % even at 800 nm

Hall-effect measurement

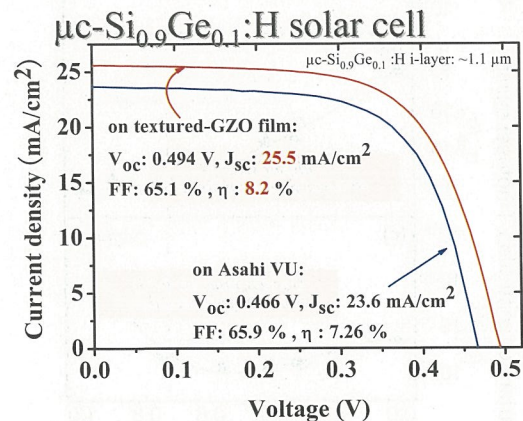
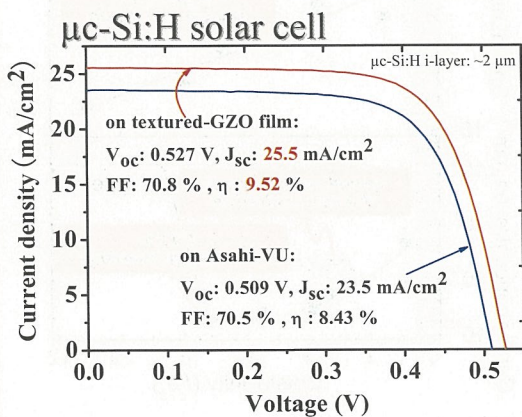
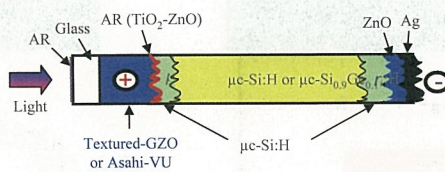


Rapid thermal annealing (RTA)

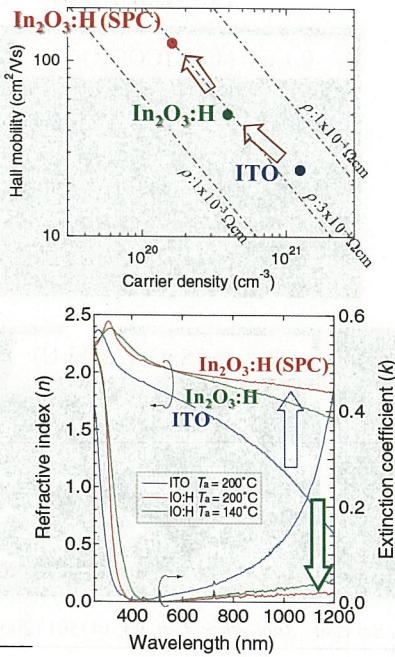
Highly transparent and conductive GZO film with proper surface texture can be fabricated by simple process with good reproducibility.

Cell performance

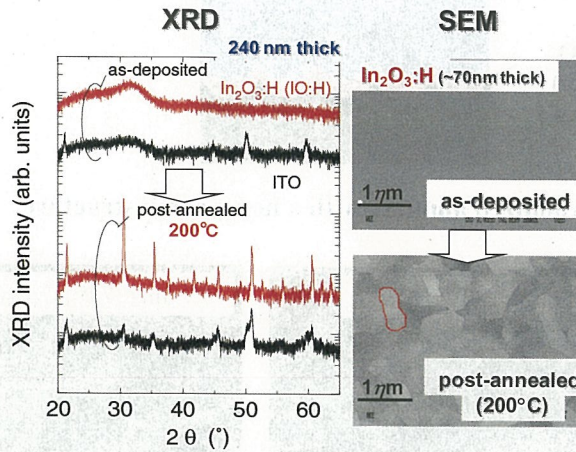
Single junction device:



高性能TCO  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{H}$  (SPC)  
High performance TCO

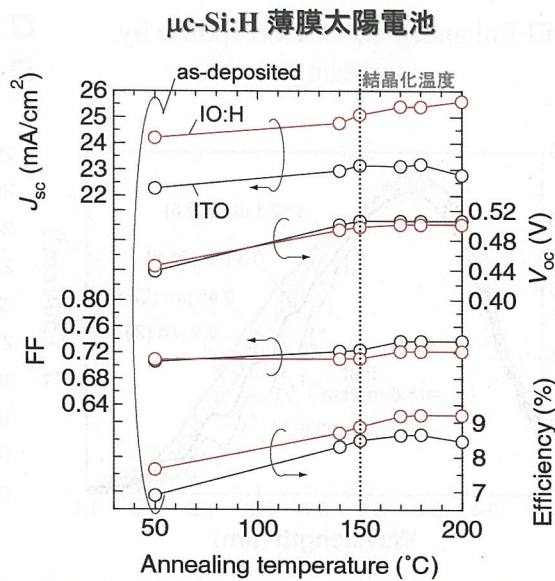
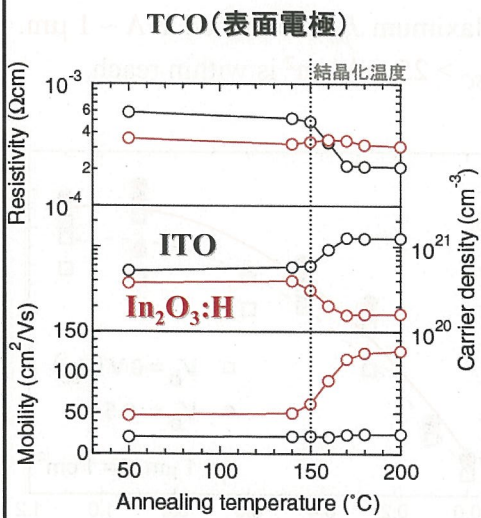


低温固相結晶化 (SPC)



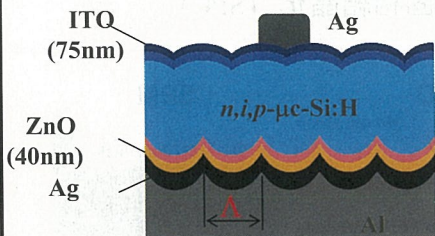
大粒径、無歪、高移動度

太陽電池特性  
(Solar cell performance)



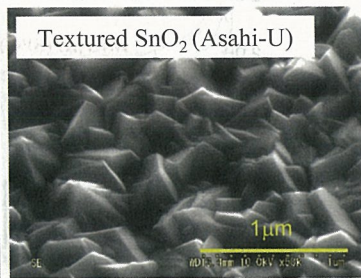
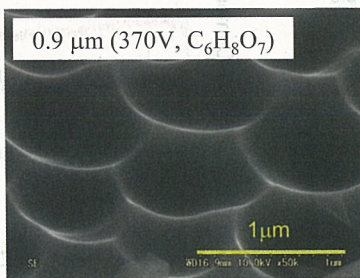
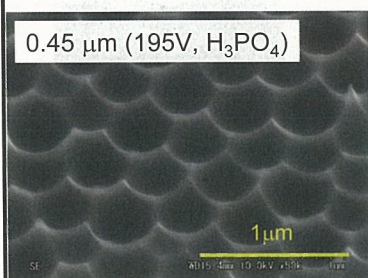
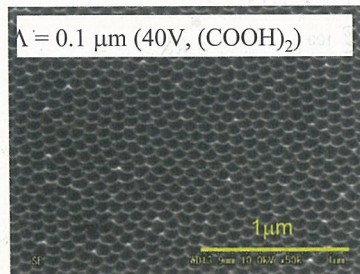
低 $N$ , 高 $\mu$   $\Rightarrow$  低自由キャリア吸収  $\Rightarrow$  高QE  $\Rightarrow$  高 $J_{sc}$   $\Rightarrow$  高効率

自己組織化構造を持つ反射基板  
2D Self-organized texture as a reflector



Anodized alumina with a honeycomb structure

Aspect ratio ~ 0.2

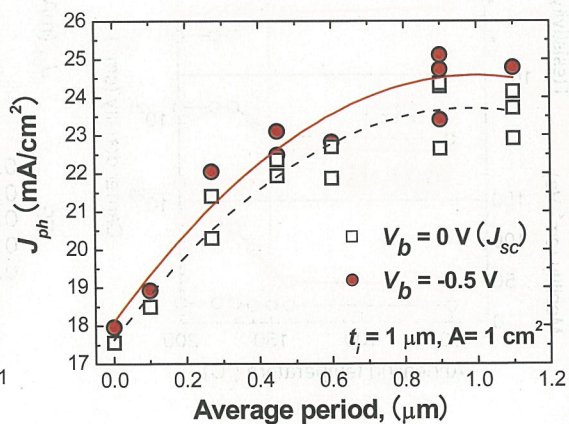
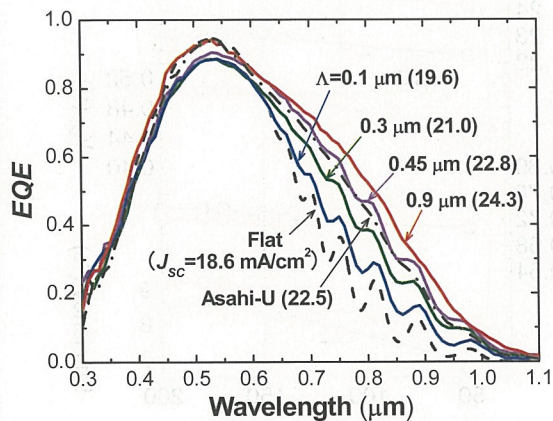


\*H. Sai et al., *Appl. Phys. Lett.* 93, 143501 (2008)

反射基板による分光感度の改善 (1-μm-thick cell)  
Better IR response

□ Enhancement of IR response by increasing  $\Lambda$ .

□ Maximum  $J_{ph}$  is obtained at  $\Lambda \sim 1 \mu\text{m}$ .  
□  $J_{sc} > 25 \text{ mA/cm}^2$  is within reach.

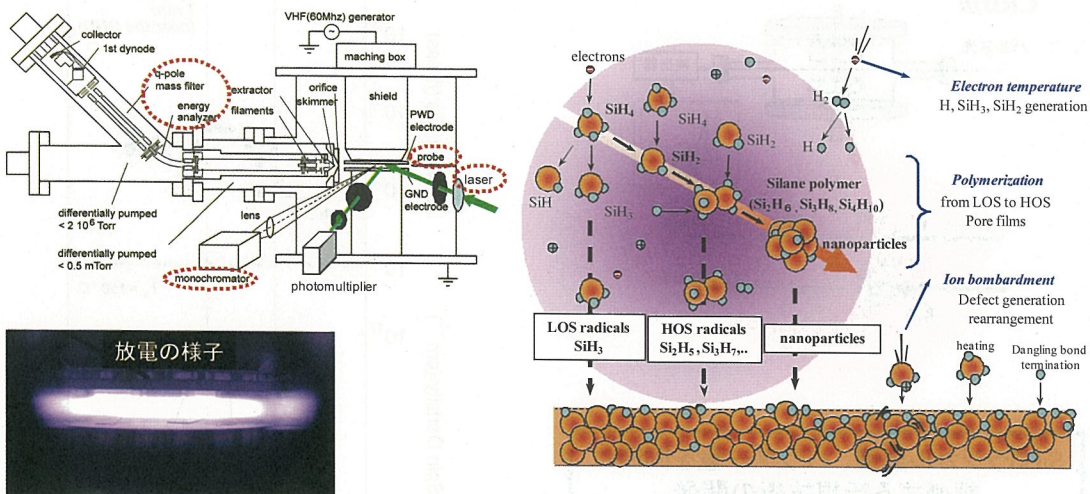


\*H. Sai et al., *Appl. Phys. Lett.* 93, 143501 (2008)

# Diagnosis of processes ; Understanding for further development

独立行政法人 産業技術総合研究所

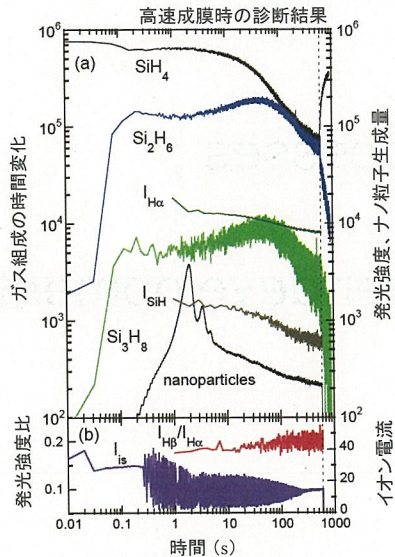
## ○シリコン系プラズマCVDの製膜過程



・高品質な膜作製には、製膜の素過程を理解し制御することが必須！

独立行政法人 産業技術総合研究所

### プラズマプロセスのガス圧依存性

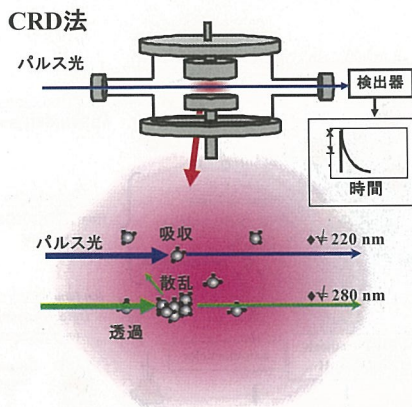


低圧	ガス圧	高圧
短い	プロセス安定化時間	長い
高い	電子温度	低い
高い	イオン衝撃エネルギー	低い
低い	SiH4 解離率	高い
低い	シランポリマー密度	高い
少量	ナノ粒子発生	大量

- 材料ガス利用効率 : 高い(80%程度)
- ガス組成の時間変化 : 界面・初期成長制御が必要

### キャビティリングダウン(CRD)法を用いたプラズマ診断

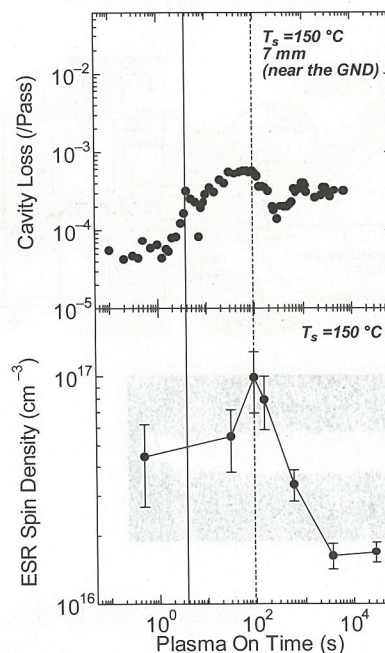
Plasma diagnosis by CRD method



SiH3ラジカル濃度、パウダー量を同時に評価する新規技術の開発

Radical distribution ⇔ substrate temperature  
Powder formation

Time evolution of cavity loss due to nanoparticles



まとめ (Summary)

1.  $\mu\text{c-Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  をボトムセルとしたタンデム太陽電池の開発

ナローギャップ材料制御(結晶性)

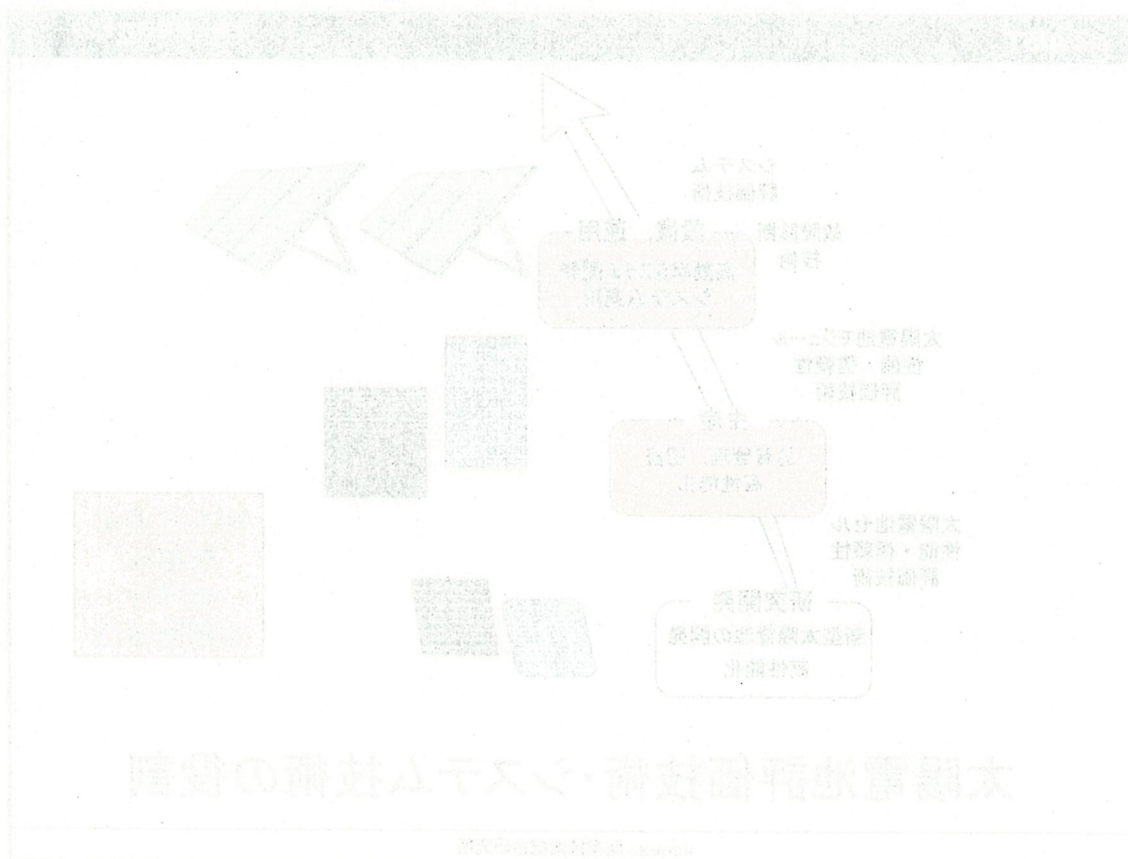
高透過低抵抗透明導電膜

RTA法

固相結晶化法

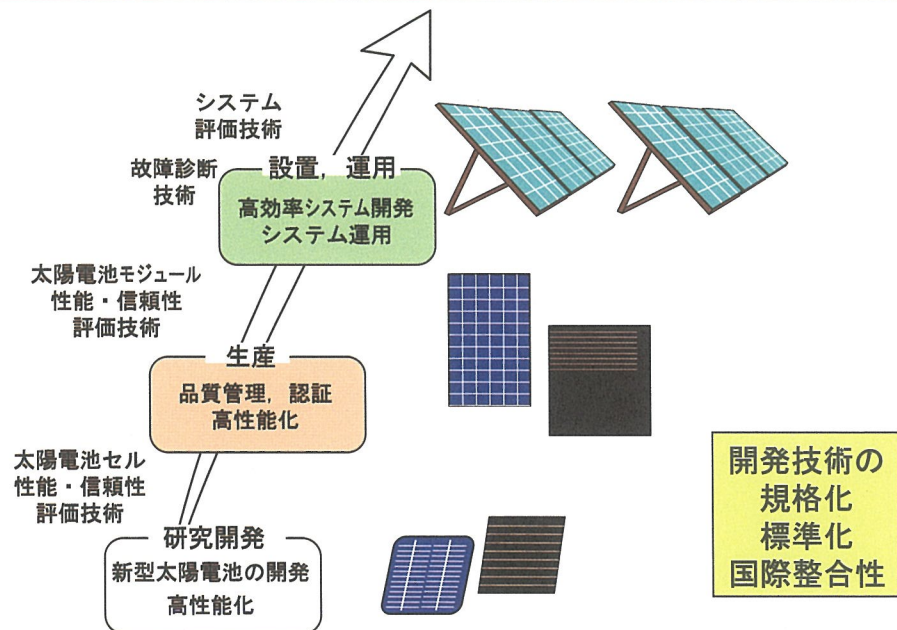
自己組織化反射基板

2. プラズマ診断技術によるプロセスの高度化



# 評価・システムチームの概要

菱川 善博



## 太陽電池評価技術・システム技術の役割

## 研究の目的

2030年100GW級のPV導入に不可欠な共通の基盤となる技術を確立する。



太陽電池性能評価技術・信頼性評価技術開発  
PVシステム評価技術・診断技術開発

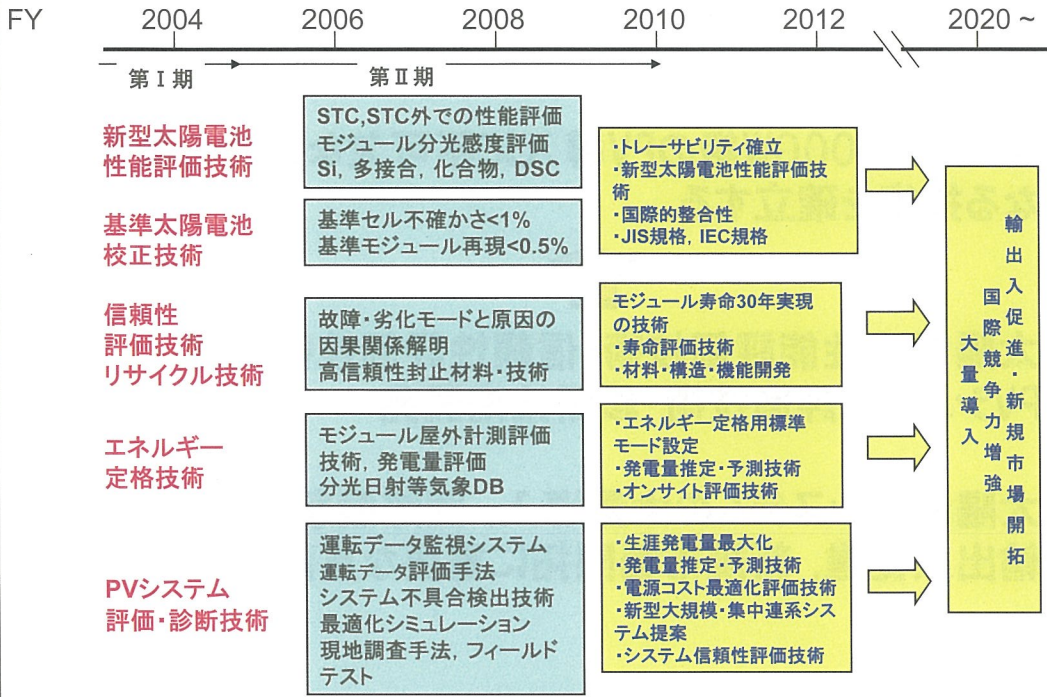
太陽電池システムの大量導入，国際競争力強化，  
輸出入促進，新規市場開拓に重要な貢献を行う。

## 目標

- ・**太陽電池評価技術**のトレーサビリティ確立，新型太陽電池評価技術開発，国際的整合の確保
- ・長寿命モジュール開発のための寿命評価技術，材料・構造・機能開発
- ・エネルギー定格用標準モード設定
- ・発電量推定・予測技術，モジュール屋外計測評価技術開発
- ・**PVシステム**評価診断解析・最適化設計技術
- ・**標準化，規格化**の推進



# 評価・システム技術ロードマップ



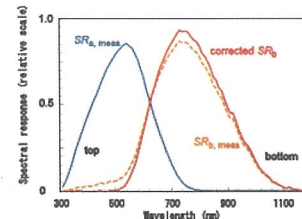
独立行政法人 産業技術総合研究所

## 新型太陽電池性能評価技術

計画: STC, STC外での性能評価 (Si, 多接合, 化合物, DSC)

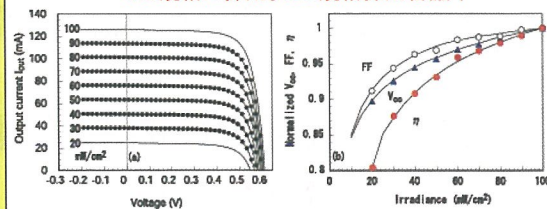
1. 新型太陽電池性能評価法の開発
  - ・新型太陽電池評価(多接合, CIGS等)
  - ・モジュール分光感度評価技術開発
  - ・太陽電池測定コンソーシアム
2. 外部サンプル評価, 国際比較測定
  - ・約100サンプル/年
  - ・モジュール国際比較測定: 良好な国際的整合性を実証
  - ・測定技術指導 (NSTDA, ITRI, etc.)
3. 規格化, 標準化への貢献
  - ・IV特性温度照度補正技術
  - ・多接合分光感度測定技術
  - JIS, IECへの採用(予定)

タンデム太陽電池評価技術  
→ JIS規格に採用



タンデム太陽電池の分光感度特性高精度測定技術

温度・照度特性補正技術  
→ JIS規格に採用。IEC規格採用審議中

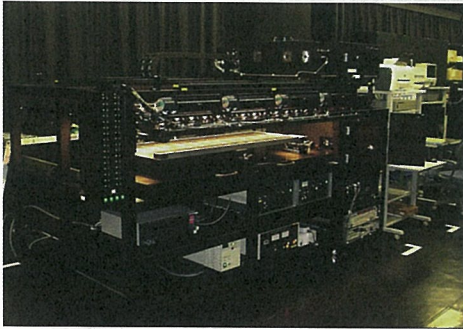


結晶Si太陽電池の温度依存性の実測値と計算結果

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 太陽電池モジュール分光感度測定技術

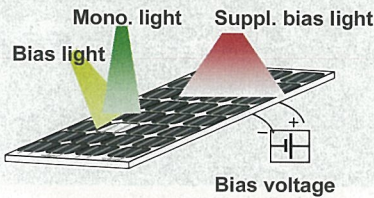
PV Module SR measurements



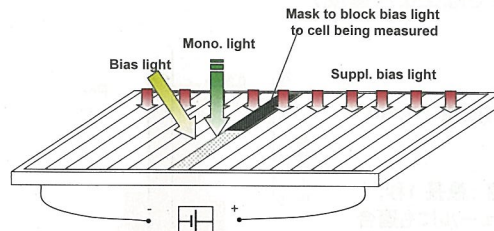
モジュール分光感度測定装置 (CEP-M7)  
Module SR measurement apparatus (CEP-M7)

➢ STC測定やエネルギー定格等の評価において、太陽電池モジュールの分光感度を非破壊で測定する技術が必要

➢ 結晶Si, 薄膜太陽電池に両対応のモジュール分光感度技術および測定装置を開発

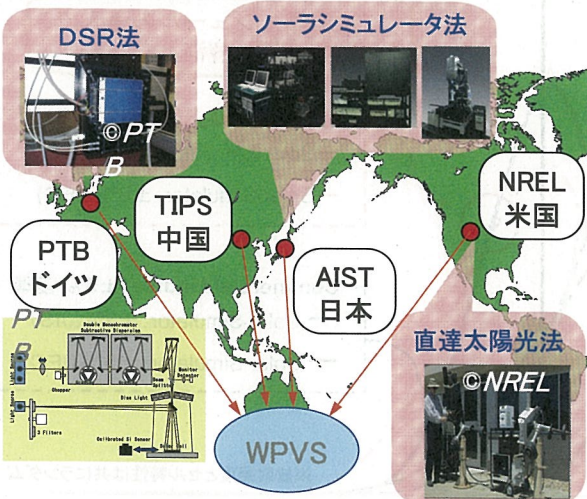


結晶Si系太陽電池の測定図  
SR measurements set up of c-Si module

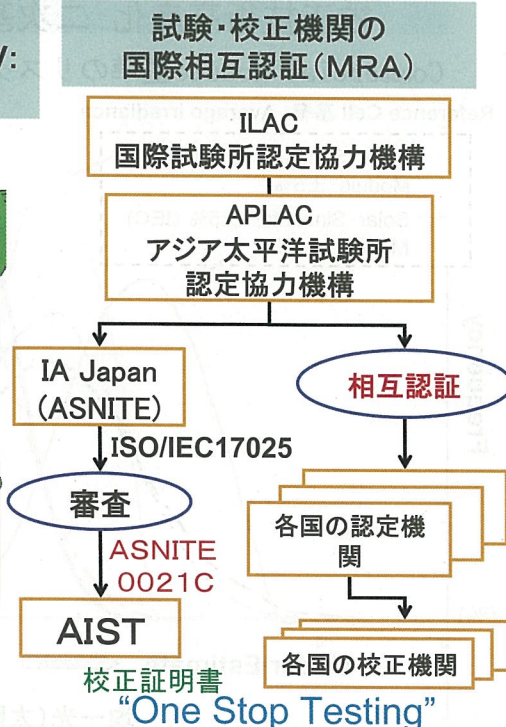


薄膜太陽電池の測定図  
SR measurements set up of thin film module

## 基準太陽電池校正技術 Calibration performance of AIST RCPV: WPVS Qualified Lab

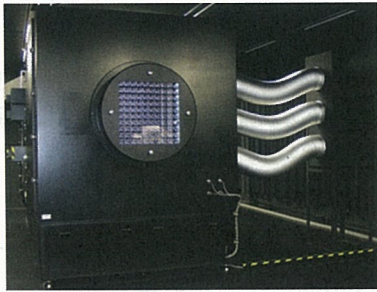


4機関の平均値が  
"Key Comparison Value"

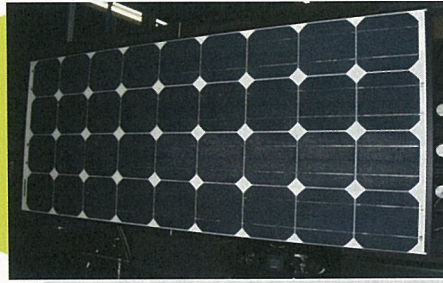


校正証明書  
"One Stop Testing"

二次基準モジュール用ソーラシミュレータ



二次基準モジュール



二次基準モジュール温度制御装置

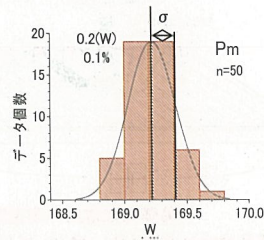


World's First

・IEC60904-9 Class A+照度むら ±1%以下  
(産総研では±0.7%達成)

・有効照射面積 : 1.1m × 1.9m

・パルス幅 : 最長 1秒, 新型モジュールにも適合

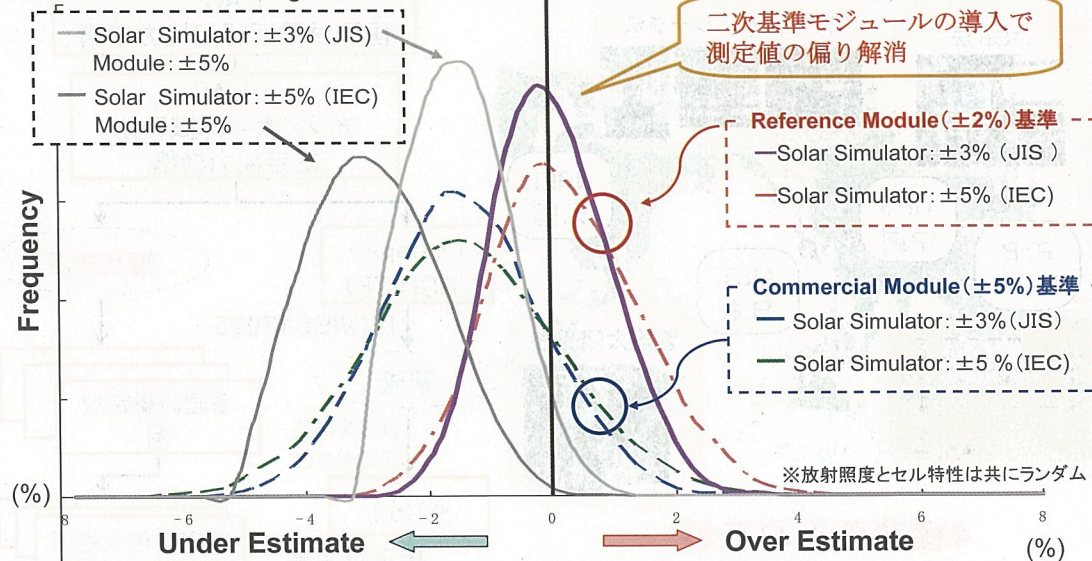


面内温度制御:  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$   
(JIS/IEC規格:  $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ )

校正技術高度化: 二次基準モジュール法の導入効果

Commercial Module基準のリスクとReference Module Methodの効果

Reference Cell 基準、Average Irradiance



均一光(太陽光)測定値との差

# 太陽電池モジュールの長期信頼性評価技術

Long term reliability evaluation of PV modules

## 背景と目的

## Background & Target

**課題** 一般的な家電製品と比べ、モジュールの寿命は長く、試料としての寸法が大きいいため、特別な寿命評価手法を開発する必要がある。

For the specificity of the PV module, we have to develop the special lifetime evaluation tech

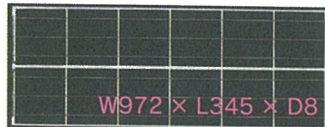
**手法** (a)等価ミニモジュールにより試験体数量を確保した上での複合加速試験と精密測定技術。  
(b)既知の因子(光、熱)以外の加速条件の探索。

**目標** 30年超のモジュール寿命を評価する試験方法を開発する

New test method which evaluates PV module life in 30yrs over should be developed.

## 複合加速試験

Combined stresses acceleration test



複合加速試験に用いたモジュール  
Test sample

	0 hrs (initial)	50 hrs	150 hrs	250 hrs
Cell No.1				
Cell No.12				

高温時光照射・温度サイクル試験を実施し、モジュールA(国内A社製、多結晶150mm角セル12枚)でのデラミネーション発生と成長を確認した。

De-lamination occurred and its growth was observed.



試験名	全累計時間	ライン番号
3SUN90°C	230時間	1
3SUN75°C、 -20°Cサイクル 試験	280時間	2
	330時間	3
3SUN75°C、 -40°Cサイクル 試験	380時間	4
	480時間	5
	580時間	6

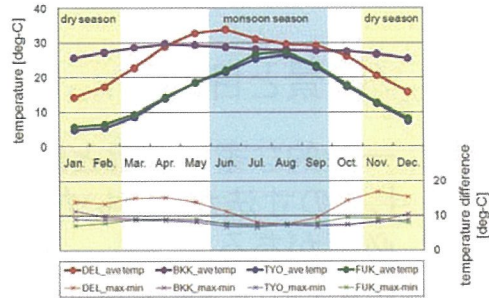
裏面ふくらみ成長の様子： 図中のラインと付した番号は表のライン番号と試験の累計時間に対応。サイクル試験の累計時間とともにふくらみの面積が増大していくことが分かる。

The growth of inflated back sheet.

# 太陽電池屋外測定試験の国際比較研究

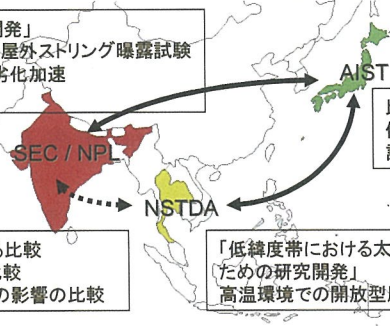
## Intercomparisons of outdoor performance measurements of PV modules

- ・ 高温気候(タイ)と高温・高温度差気候(インド), および温暖気候(日本)で複数種類の太陽電池の屋外曝露比較試験を行い, 太陽電池の長期信頼性(性能変化, 劣化)を評価する.
- ・ 現地で精密気象観測を行い, 前記環境に適した太陽電池デバイスの開発指針を検討する.



高温地域の環境に適し信頼性のより高い太陽電池の製作に有益な知見が得られ, 日本および当該国の太陽電池産業の発展に寄与する.

「太陽電池寿命評価技術の研究開発」  
高温温度サイクル下でのMPPT型屋外ストリング曝露試験  
→温度サイクル・通電状態による劣化加速  
→故障モードの早期発現

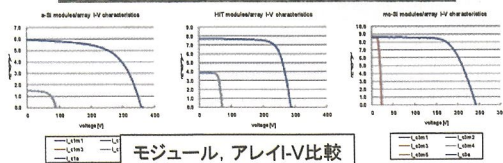
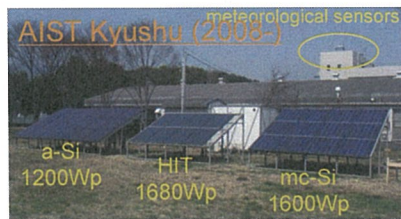
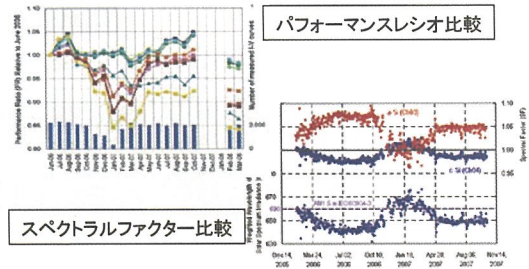
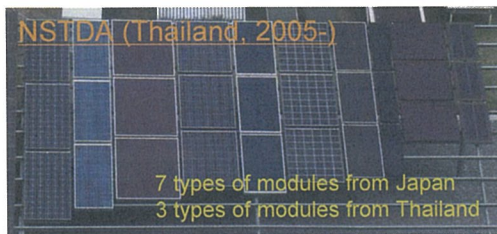


比較基準:  
他の先進国と同様の日射, 温度環境  
計測機器の開発, 改良拠点

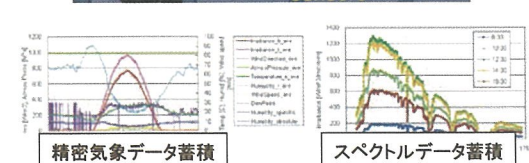
太陽電池運転状態による比較  
温度サイクルの違いの比較  
水蒸気量の分光日射への影響の比較

「低緯度帯における太陽電池評価の標準化のための研究開発」  
高温環境での開放型屋外モジュール曝露試験

# 屋外曝露試験サイトでの計測データ



モジュール, アレイ-V比較



精密気象データ蓄積

スペクトルデータ蓄積

# 発電量評価技術の研究開発 Energy Rating of PV Modules

## Purposes

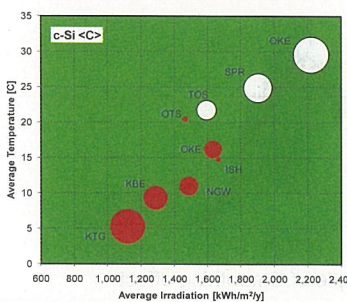
- 多様化する太陽電池技術に対し、STCを補完する評価体系として、発電量定格方式を推進
- 各種太陽電池の「発電量」による競争を促す物差し
- 「適材適所」による発電量の最大化を可視化
- 発電量定格方式の標準化 (IEC 61853)

## Monitoring & Verification

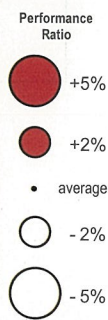
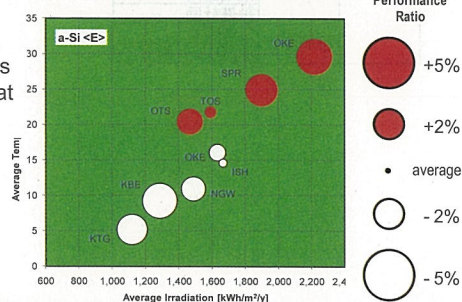
- Round-Robin Outdoor Measurements of PV modules at 10 sites (1<sup>st</sup> Stage) and 7 sites (2<sup>nd</sup> Stage) \*planned



## Monitoring Results



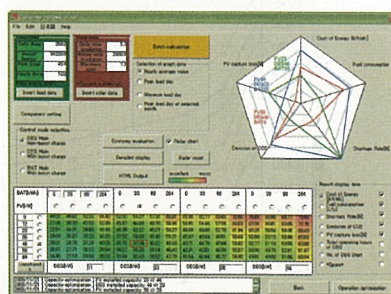
Performance differences Between c-Si and a-Si at Round-Robin test sites



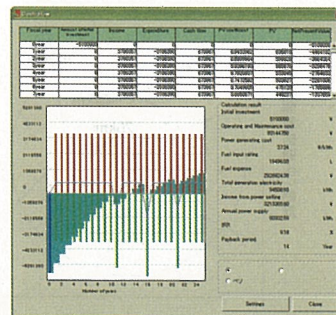
# ハイブリッド太陽光発電システムの設計支援ツール開発 Development of Supportive Technology for PV-Hybrid System Design

## Design Assistance of PV-Hybrid systems

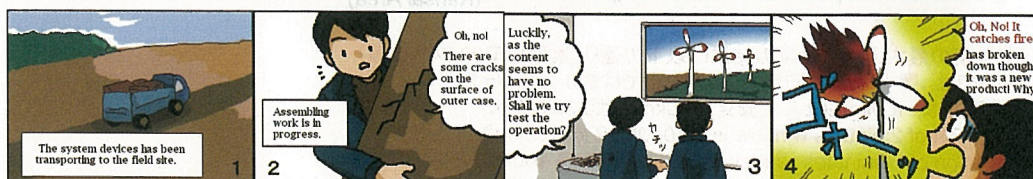
Comparison by radar chart



Cash flow estimation



## Lessons-learnt from existing PV-Hybrid systems (15 sites) by NEDO

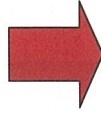


系統連系技術における技術的導入限界量に関する検討。

Evaluation of the installable PV system capacity under the Utility grid issues.

- PVの出力変動の主要因は雲の発生・移動である。
- 広域で見れば、その変動が打ち消しあう効果が期待されている→ならし効果

上位系統	電力品質	周波数 系統安定	
	運用計画	系統管理 設備計画	
	保護保安	保護リレー検出	
配電系統	電力品質	電圧 高調波 高周波 直流電流	
		運用計画	系統管理 機器管理 系統運用 設備計画
			設備保安



- 将来の大規模なPVシステムの導入にあたり、グリッド全体での需給バランスの観点から導入可能量を検討。
- 短周期変動の影響を検討。
- ならし効果を加味した、PVシステムの変動特性。

Evaluation of the balance between demand and supply in the short time fluctuation with smoothing effect.

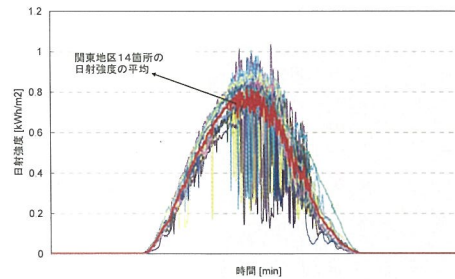


Fig. an example of Smoothing effect

電力管内を想定して、最大出力変動幅のエリア拡大による評価

Evaluation of fluctuation of irradiation depended on the area size.

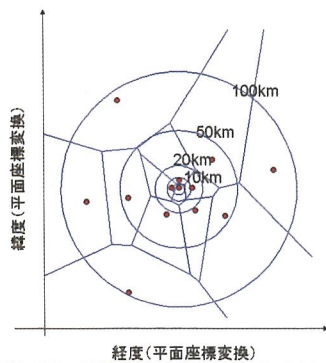


Fig. Measurement points with Voronoi diagram

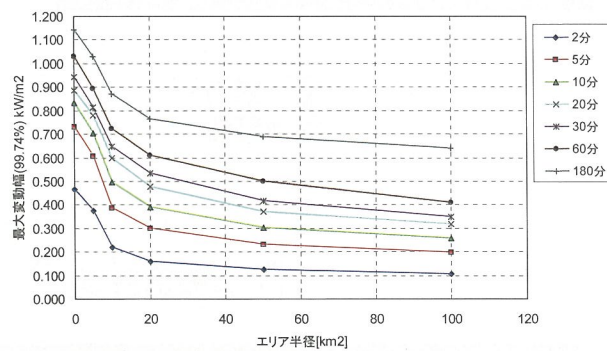
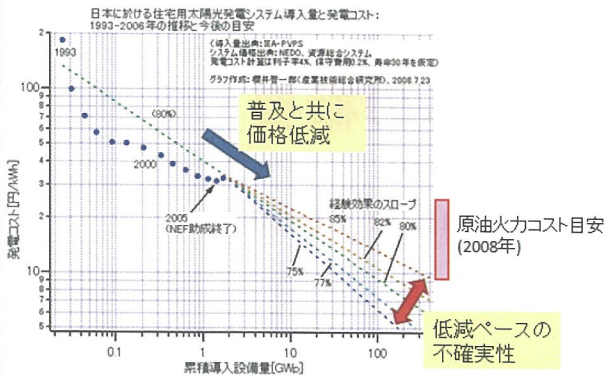


Fig. Results of Maximum output fluctuation (Kansai Area)

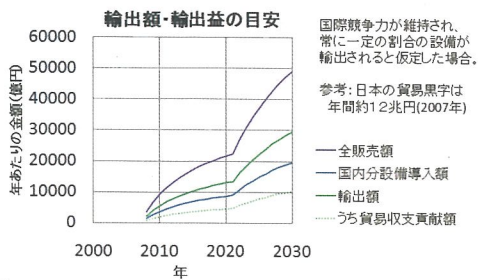
- 日射強度の最大出力変動幅の結果は以下の通り(累積確率99.74%の値)
- 2分窓では、数十kmにて安定:100km以上では約0.10kW/m2
- 20分窓では、100km以上にて安定:100kmでは0.30kW/m2
- (Fluctuation of 2minutes window is 0.10kW/m2 @ 100km2 ,
- Fluctuation of 20minutes window is 0.30kW/m2 @ 100km2)

# 普及政策のインパクトと要点の分析



- ・日本でも現状の数十倍の普及量で10円/kWh前後に達するペース
- ・一般に想定される太陽光発電のコスト低減ペースの不確実性よりも、化石燃料価格の方が変動幅が大きく予測も困難
- ・競争力を保つかどうかで
  - ・貿易収支に年間数兆円規模で影響
  - ・巨額の波及効果・地域経済に影響
  - ・応用産業(自動車、建築)にも影響
  - ・エネルギー・環境・国際政治等でも差

助成費用に比べ、予測される経済的利益の方が遙かに大きく、広範囲かつ長期間にわたる(ドイツなどの実績とも合致)



独立行政法人 産業技術総合研究所

## 今後の展開

- 1. 太陽電池性能評価技術**  
STC, STC以外における新型太陽電池評価技術(モジュール) 基準太陽電池セル・モジュールのトレーサビリティ確立・高度化
- 2. 太陽電池信頼性評価技術**  
モジュール寿命30年実現のための技術開発。  
屋外の劣化症状モードとメカニズム・加速試験法解明
- 3. PVシステム技術**  
エネルギー定格用標準モード設定。  
発電量推定, 予測技術 オンサイト評価技術。  
運転データ監視・システム不具合検出技術。信頼性評価技術。
- 4. 規格化, 標準化**  
研究成果を基に国内・国際規格への提案。

独立行政法人 産業技術総合研究所

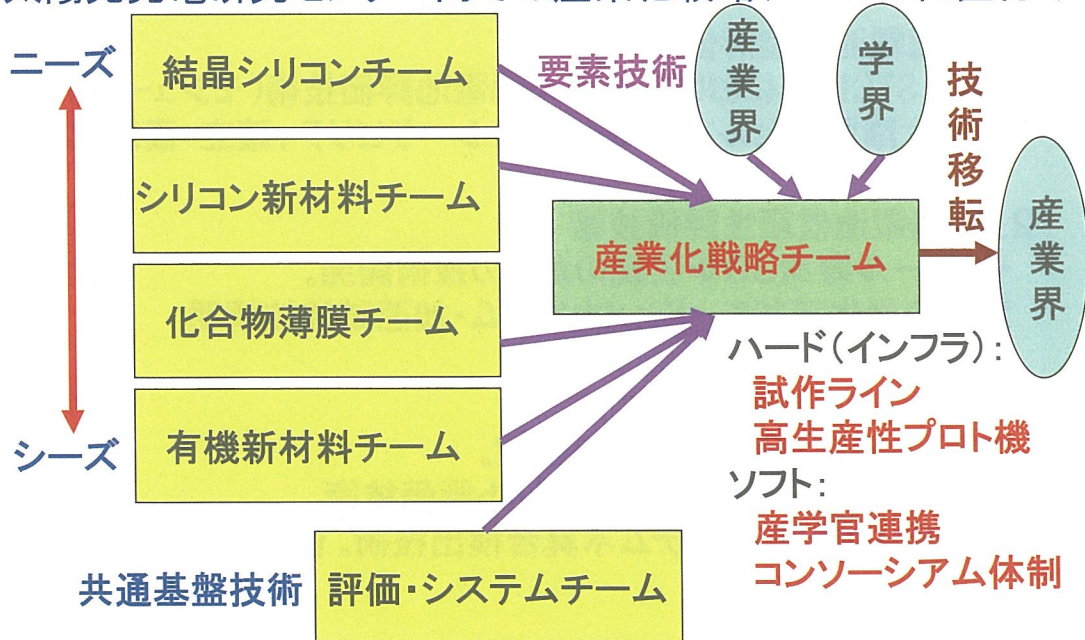


# 産業化戦略チームの概要

## Recent Activity of Strategic Industrialization Team

太陽光発電研究センター  
 産業化戦略チーム長  
 増田 淳  
 Atsushi Masuda

### 太陽光発電研究センター内での産業化戦略チームの位置付け



Mission of Strategic Ind. Team is technical transfer to industry.

## 産業化戦略チームのミッション

Mission of Strategic Ind. Team

産学官連携体制で、新規要素技術の実用化可能性を検証するとともに、太陽電池業界の将来を担う若手人材の育成を図る。

Verification of novel techniques, Fostering of young researchers

産学官連携体制→コンソーシアム型共同研究

Collaboration under consortium

ハード(インフラ): 試作ライン、高生産性プロト機  
ソフト: コンソーシアム体制

## 産業化戦略チームで実施しているテーマの例

試作ラインを用いた研究 Test line of thin-film Si solar cells

薄膜シリコン太陽電池の高生産性技術開発(一部NEDO委託)

各チームの共通基盤技術となる研究 Flexible substrate consortium

フレキシブル太陽電池用ポリマー基材に関する技術開発

(民間企業8社とのコンソーシアム型共同研究)

他チームで実施していないテーマに関する研究 Novel tech. of c-Si

結晶シリコンインゴットの新規スライス技術開発

その他 Others

コンソーシアム以外の民間企業ならびに大学との共同研究

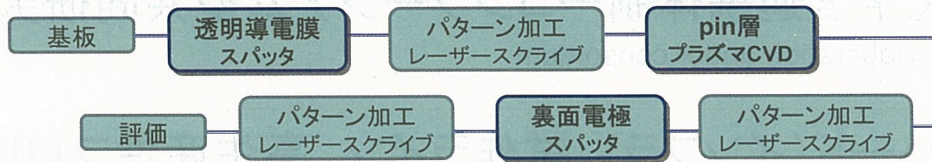
# 産学連携対応薄膜シリコン太陽電池試作ライン

Test line for thin-film Si solar cells for collaboration



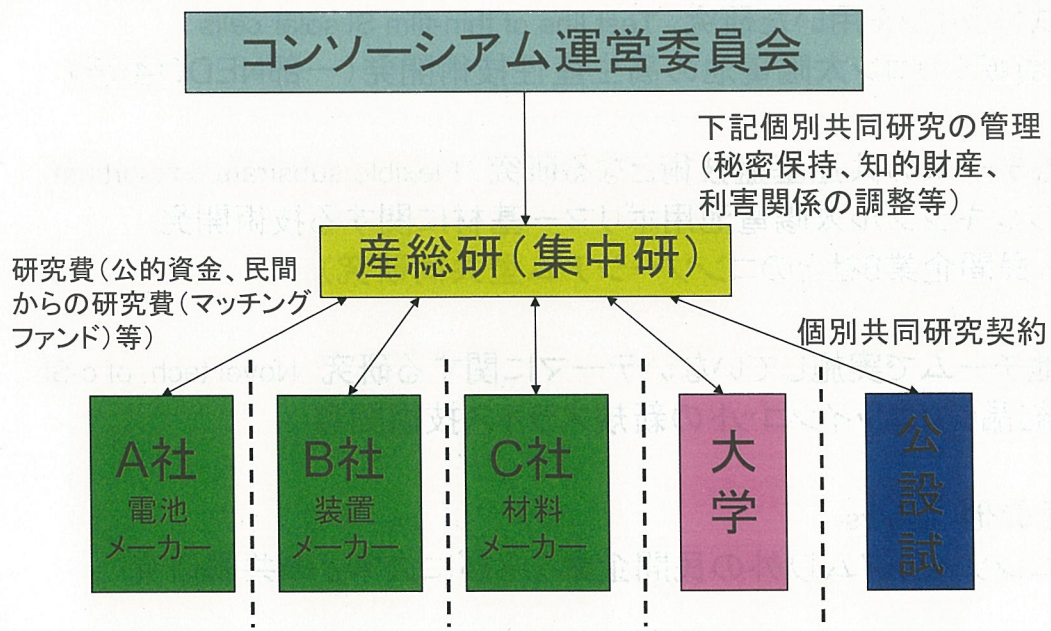
小面積実験用装置での条件検討では、実際の工業ラインとの相違が大きい

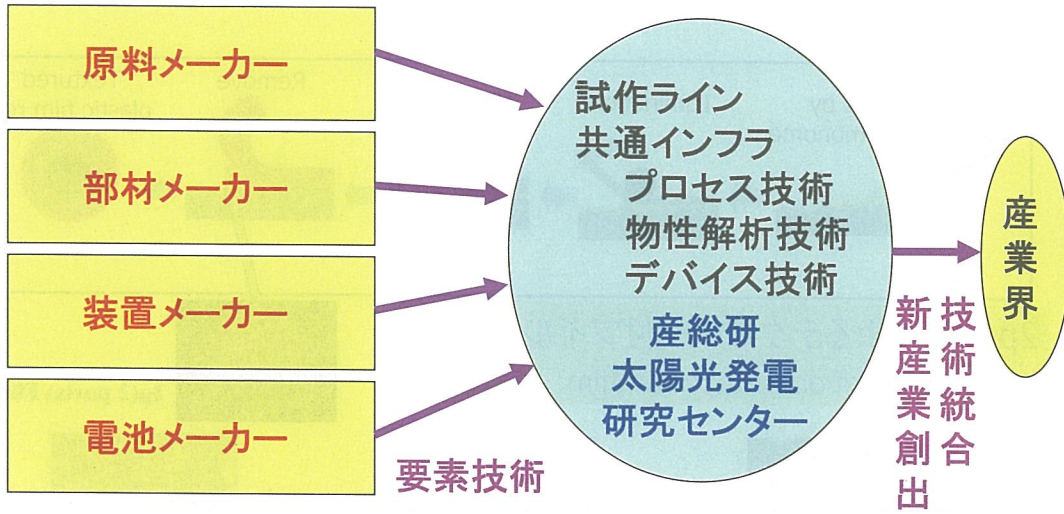
第1.5世代ガラス相当(310mm×410mm)の薄膜シリコン太陽電池試作ラインを構築



コンソーシアム研究等の共同研究に使用

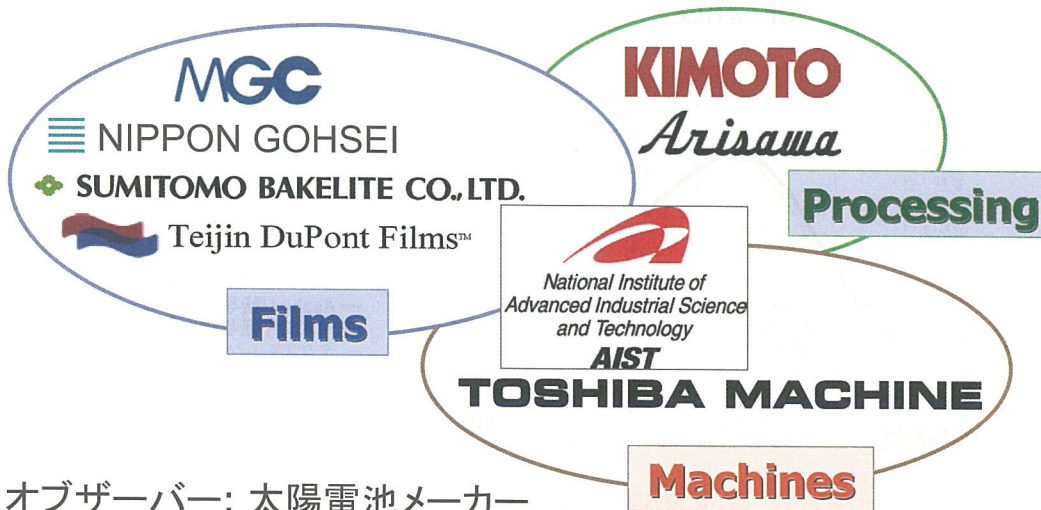
# コンソーシアムの基本的構成





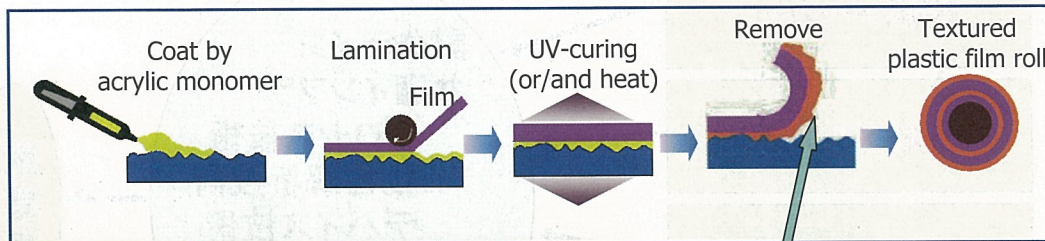
コンソーシアム型共同研究を通じた新産業創出  
Creation of new industry by collaboration under consortium

フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム  
Flexible solar-cell substrates consortium

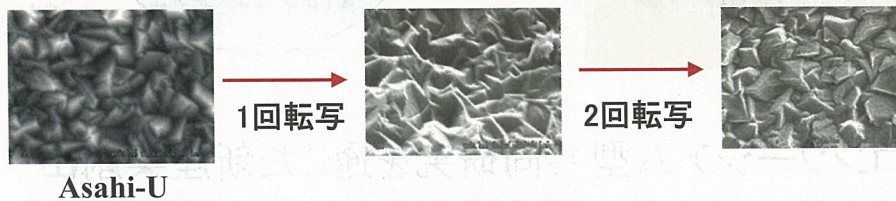


オブザーバー: 太陽電池メーカー  
第2期: 2008.4.1~2010.3.31

# フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム



2p成形によるテクスチャ付フィルム作製  
Bilayer fabrication of textured film



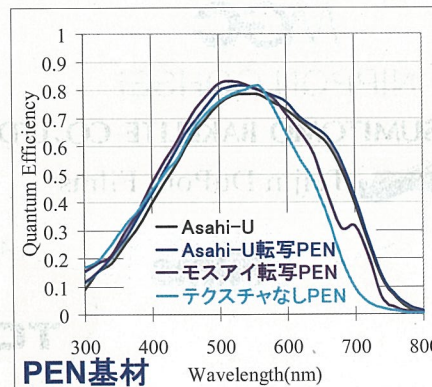
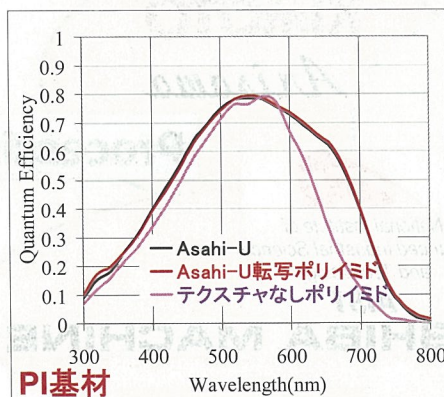
詳細:ポスターセッション 勝間勝彦(日本合成化学工業)

独立行政法人 産業技術総合研究所

# フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム

## 太陽電池構造

textured polymer/ZnO:Ga/Ag/ZnO:Ga/a-Si:H nip/ITO/Ag grid



テクスチャ形成によって、長波長感度が上昇

Quantum efficiency in long-wavelength region increases with texture formation.

独立行政法人 産業技術総合研究所

## フレキシブル太陽電池基材コンソーシアム

## 太陽電池特性 Performances of solar cells

Substrate	$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	Fill factor	Efficiency (%)
Asahi-U	15.7	0.88	0.59	8.2
Asahi-U- transferred PI	15.0	0.84	0.65	8.3
Flat PI	11.7	0.83	0.68	6.5
Asahi-U- transferred PEN	15.6	0.87	0.60	8.1
Moth-eye- transferred PEN	14.1	0.87	0.62	7.7

東芝機械がnano tech 2009 国際ナノテクノロジー総合展・技術会議(2009年2月18日～20日)にて、nano tech大賞 微細加工技術部門賞を受賞

独立行政法人 産業技術総合研究所

高信頼性太陽電池モジュール  
開発・評価コンソーシアム

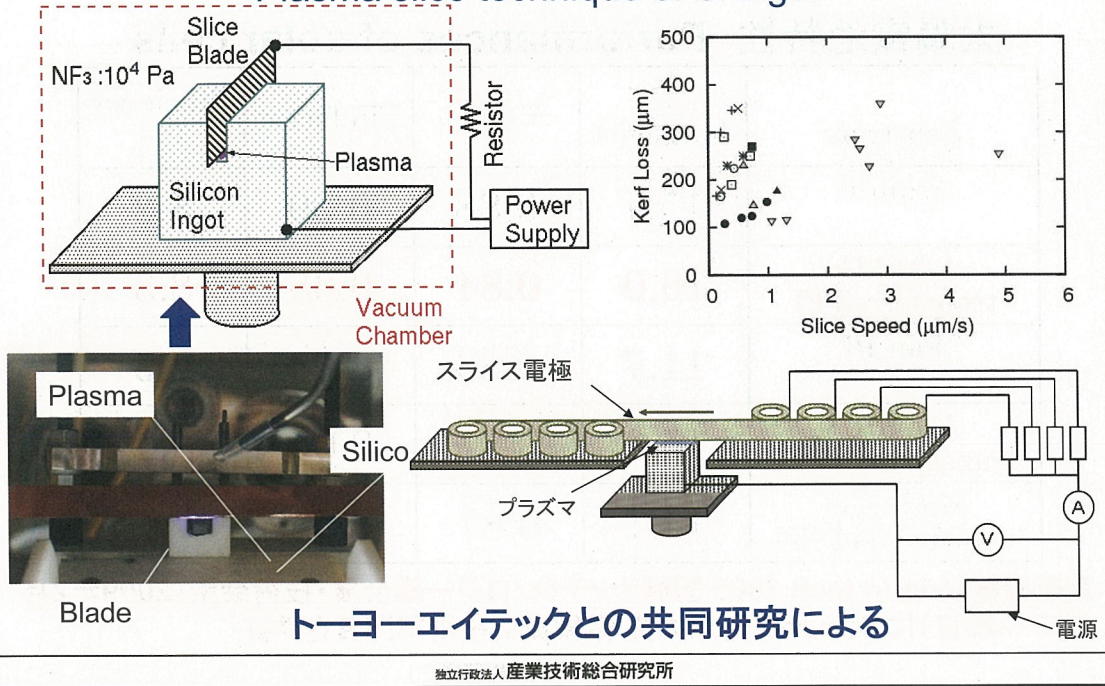
Consortium study on fabrication and characterization of solar cell modules with long life and high reliability

- 開始時期:平成21年秋以降
- 研究内容:  
新規材料、新規構造を用いた太陽電池モジュールを開発する。  
各種太陽電池モジュールおよび部材等の信頼性を評価する。  
試験方法そのものを開発する。
- 構成:産総研、民間企業等(複数機関)

詳細は2日目に発表

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 結晶シリコンインゴットのプラズマスライス技術 Plasma slice technique of Si ingot



## 新規ハロゲン系ガスを用いたCVDチャンバーの プラズマクリーニング技術

Plasma cleaning techniques for CVD chamber  
using novel halogen gases

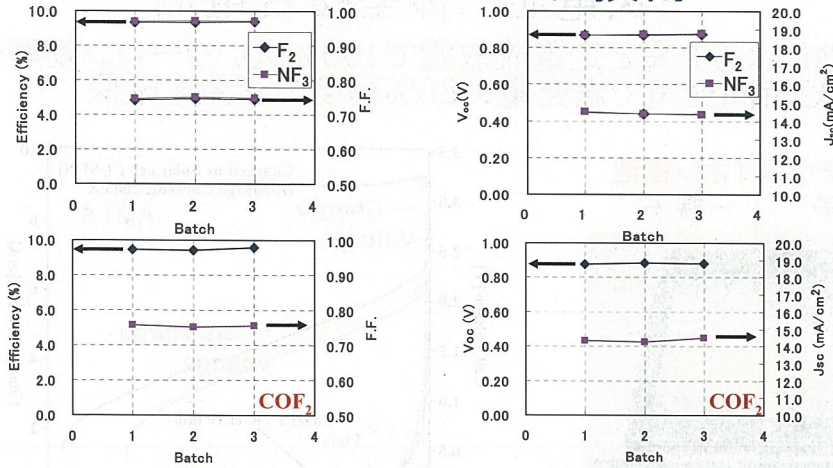
チャンバークリーニングガスとして、一般的には $NF_3$ あるいは $SF_6$ が用いられることが多いものの、地球温暖化係数が高いことが課題。

**GWP  $NF_3$ : 10800,  $SF_6$ : 22200,  $COF_2$ : 1,  $F_2$ : 0**

$F_2$ ならびに $COF_2$ を薄膜シリコン系太陽電池用プラズマCVD装置のチャンバークリーニングに適用し、その有効性を検証した。

$COF_2$ に関する成果は、関東電化工業、日本エア・リキードとの共同研究による

## 新規ハロゲン系ガスを用いたCVDチャンバーの プラズマクリーニング技術

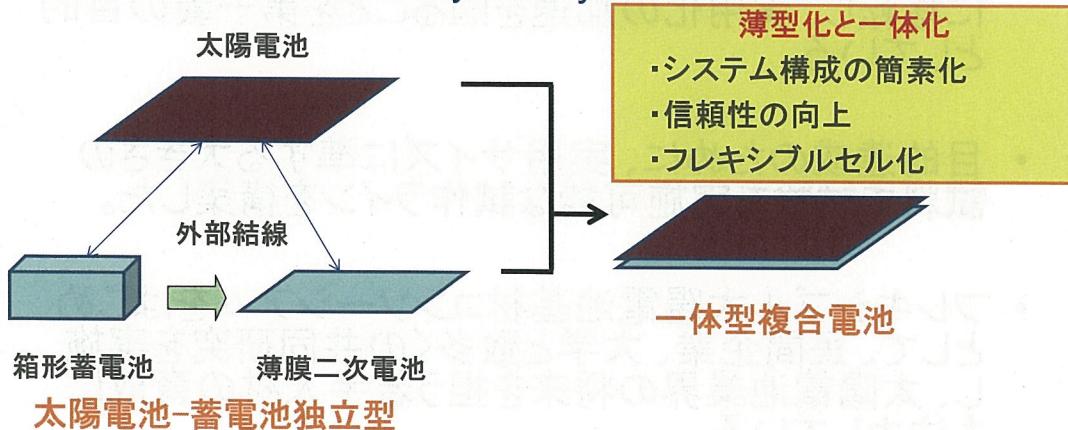


$F_2$ 、 $COF_2$ といった新規クリーニングガスを用いた場合でも、チャンバークリーニング後のアモルファスシリコン太陽電池特性は $NF_3$ を使用した場合と遜色ない。

$COF_2$ に関する結果の詳細は、PVJapan 2009の日本エア・リキードブースにて発表

## 薄膜シリコン太陽電池-薄膜リチウムイオン 二次電池一体型複合電池

Monolithic thin film battery composed of  
Li ion secondary battery and solar cells

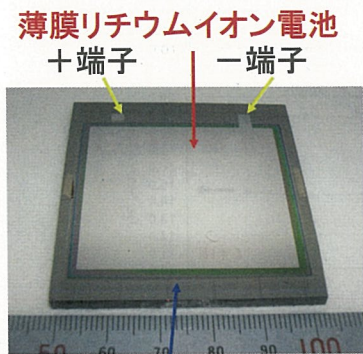


岩手大学、アルバックとの共同研究による

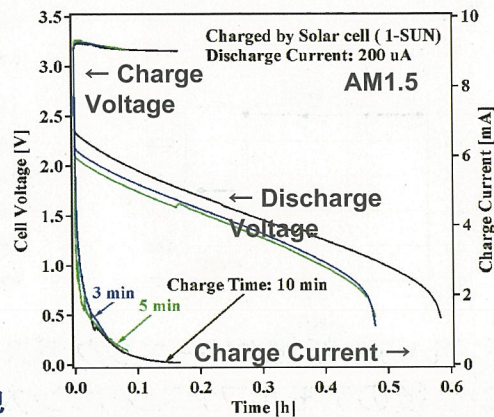


## 薄膜シリコン太陽電池-薄膜リチウムイオン 二次電池一体型複合電池

- ・太陽電池による充電と定電流放電で100%近いクーロン効率を達成
- ・3 minの短時間充電で満充電の80%程度の容量を確保



直列集積構造薄膜シリコン太陽電池



PVJapan 2009の産総研ブースにて充放電を実演  
岩手大学、アルバックとの共同研究による

独立行政法人 産業技術総合研究所

## まとめ

- ・産業化戦略チームは、産学官が有する太陽電池に関する要素技術を抽出、整理するとともに、産業界に移転し、実用化の加速を図ることを第一義の目的としている。
- ・目的達成のために、実用サイズに準ずる大きさの試料で試験を実施可能な試作ラインを構築した。
- ・フレキシブル太陽電池基材コンソーシアムをはじめとして、民間企業、大学と数多くの共同研究を実施し、太陽電池業界の将来を担う若手人材の育成にも注力している。

独立行政法人 産業技術総合研究所

トピックス講演

# 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を用いた 高電流型薄膜太陽電池の開発

Development of microcrystalline  $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  thin film solar cells  
exhibiting high photocurrent densities

シリコン新材料チーム 松井 卓矢

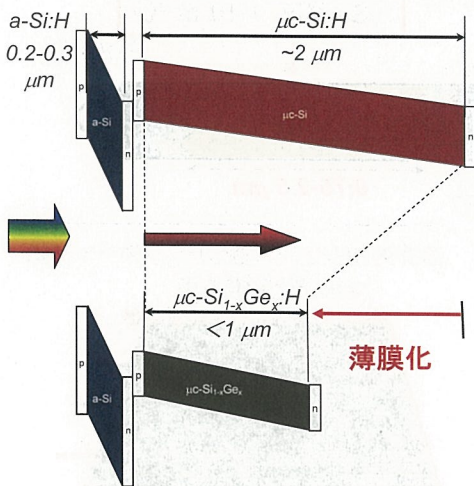
## 概略

1. 研究背景
2. 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$  p-i-n型太陽電池の最適化  
— 微結晶Si太陽電池との比較 —
3. さらなる高電流化に向けた検討  
— n-i-p型太陽電池 —
4. まとめ

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 1-1. 研究背景 — 微結晶 $\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x$ を用いた多接合太陽電池の提案 —

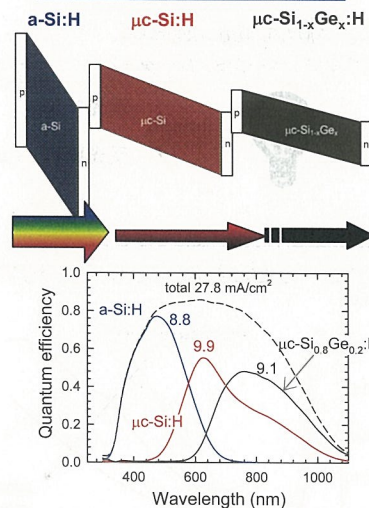
### 2接合(double junction)



$\eta_{\text{ini}} = 11.2\%$  @  $t_{\text{bottom}} = 0.9 \mu\text{m}$

23rd EU-PVSEC (2008) Valencia

### 3接合(triple junction)



スペクトル感度広帯域化による  
高効率化 ( $\eta > 15\%$ )

$J_{\text{ph}}(\text{total}) \sim 35 \text{ mA/cm}^2$ が必要

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 1-2. 研究背景 — 微結晶Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>を用いた高電流型単接合セルの作製 —

- ・ 微結晶Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>単接合セルの高電流化 (>30 mA/cm<sup>2</sup>)
- ・ 赤外光照射下で微結晶Siより高性能な太陽電池を作製する

### TCOの高品質化

- ZnO:Ga基板のポストアニール
- 高移動度化・高透明化
- 高ヘイズで赤外透過率に優れたTCOの開発

### 微結晶Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>の高品質化

- 低Ge濃度領域 (x~0.1)
- 結晶性制御
- 微結晶Siより赤外感度に優れた太陽電池の開発

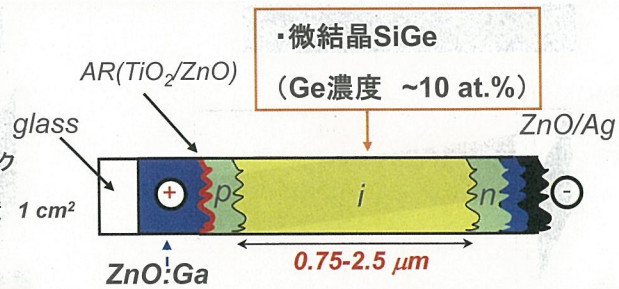
低いGe濃度 (~10%)でも薄膜で短絡電流密度が高く、高効率な微結晶SiGe太陽電池を作製できる

## 2-1. p-i-n型単接合セルの最適化 — 素子構造とTCOの最適化 —

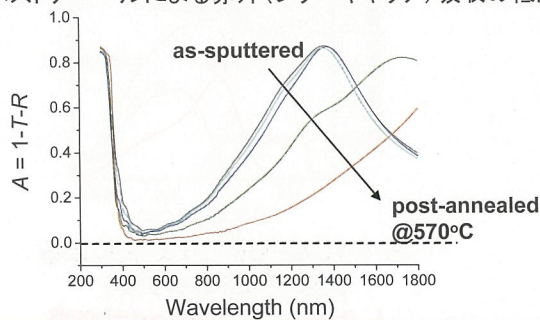
I-V測定 AM1.5, 100 mW/cm<sup>2</sup>  
(Xe-W2光源ソーラーシミュレーター)



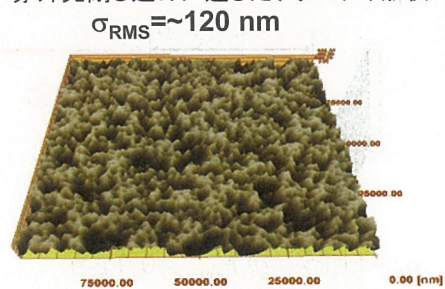
- ・ 遮光マスク
- ・ 受光面積 1 cm<sup>2</sup>



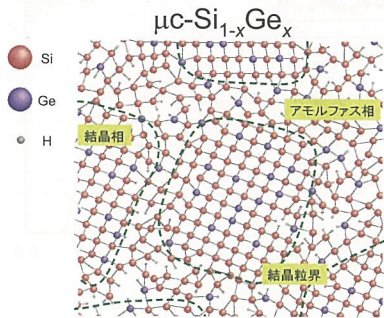
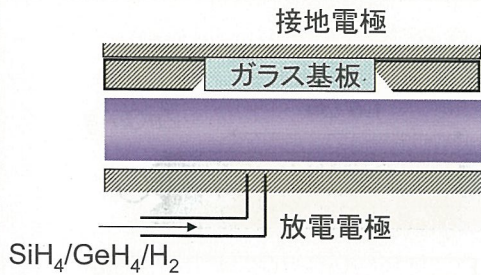
ポストアニールによる赤外(フリーキャリア)吸収の低減



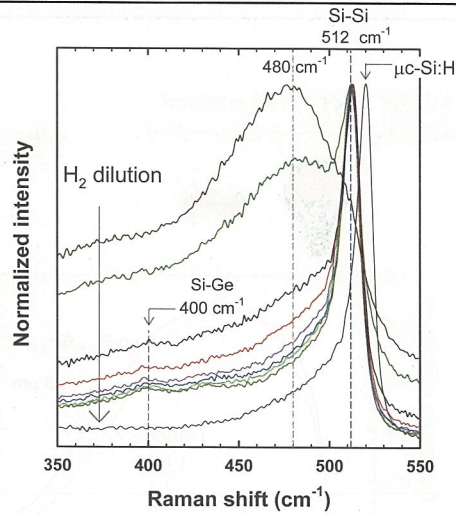
赤外光閉じ込めに適したテクスチャ形状



## 2-2. p-i-n型単接合セルの最適化 —微結晶Si<sub>1-x</sub>Ge<sub>x</sub>の製膜と構造制御—



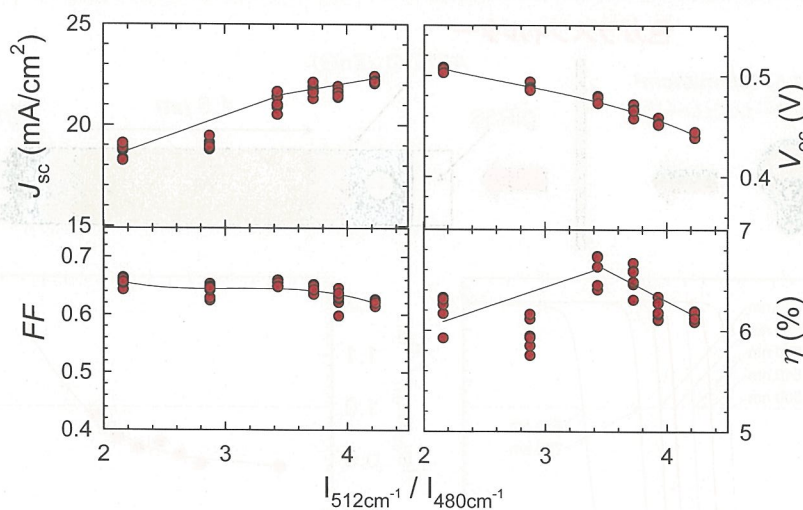
- Si原子とGe原子が均一に固溶
- 結晶相とアモルファス相が混在



Ge添加による結晶Si-Siピークのシフト  
( $\omega_{\text{Si-Si}}=512 \text{ cm}^{-1}$  @  $x\sim 0.11$ )

水素希釈の変化により組成比一定で  
結晶化度 ( $I_{512\text{cm}^{-1}}/I_{480\text{cm}^{-1}}$ ) を制御

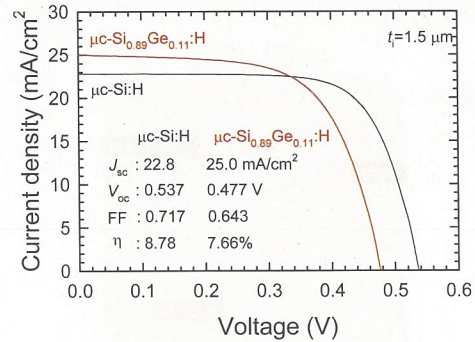
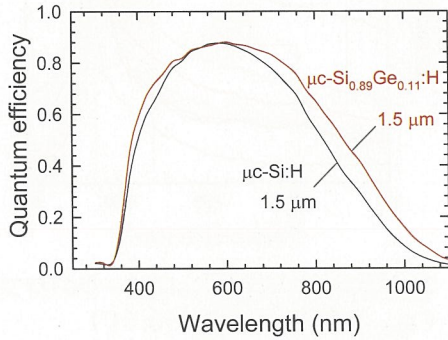
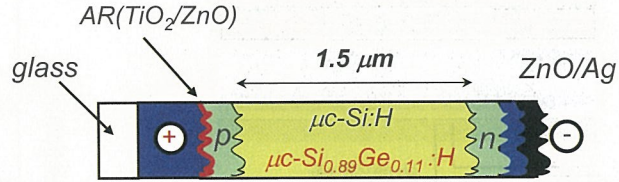
## 2-3. p-i-n型単接合セルの最適化 —結晶化度依存性—



- 結晶化度の増加とともに $J_{\text{sc}}$ は増加するが $V_{\text{oc}}$ は単調に減少
- 適度にアモルファス成分を含む境界領域 $I_{512\text{cm}^{-1}}/I_{480\text{cm}^{-1}}\sim 3.5$ で最も高い変換効率

### 2-4. 微結晶Si太陽電池との比較 - 白色光照射下 -

I-V測定 AM1.5, 100 mW/cm<sup>2</sup>  
(Xe-W2光源ソーラーシミュレーター)



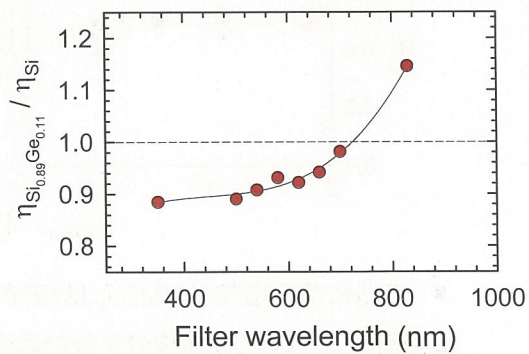
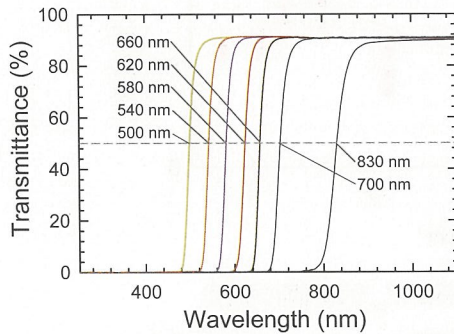
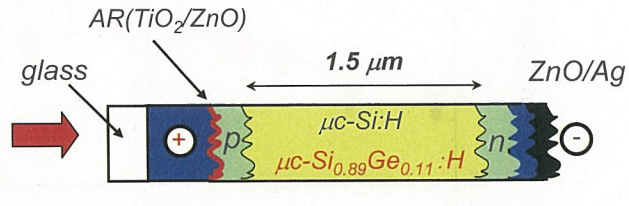
- 微結晶Siセルに比べて高い赤外感度 ( $\lambda > 600$  nm) と短絡電流 ( $\Delta J_{sc} = 2 \sim 3$  mA/cm<sup>2</sup>)

### 2-5. 微結晶Si太陽電池との比較 - 赤外光照射下 -

I-V測定 AM1.5, 100 mW/cm<sup>2</sup>  
(Xe-W2光源ソーラーシミュレーター)

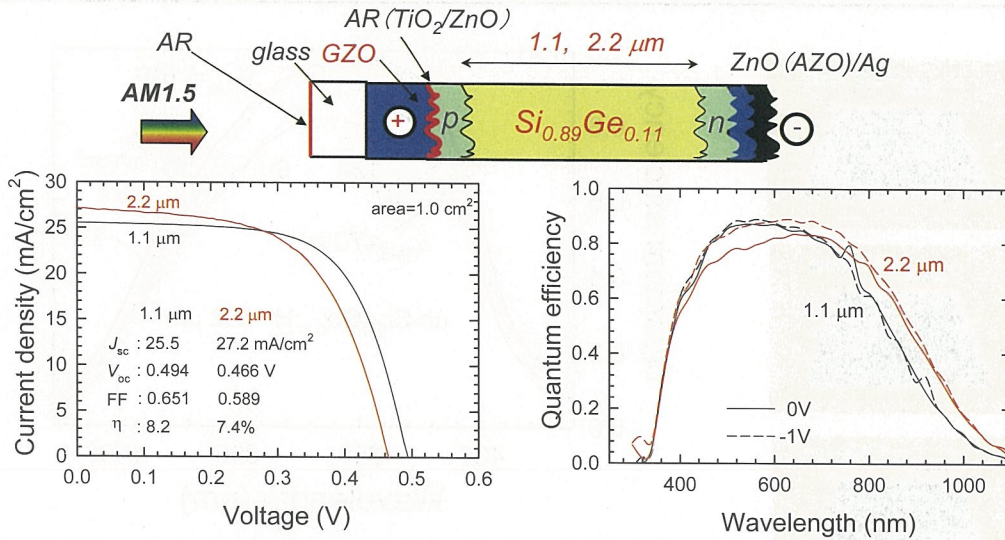


色ガラスフィルター



- 赤外光照射下では変換効率の差が小さくなり、 $\lambda > 700$  nmでは変換効率が逆転する。

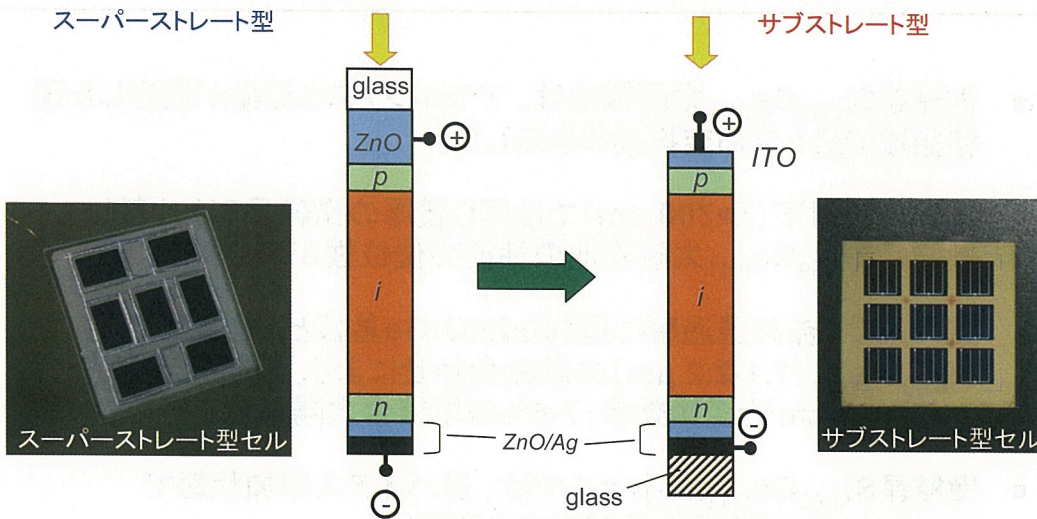
### 2-6. 微結晶Si<sub>0.89</sub>Ge<sub>0.11</sub>太陽電池の特性



- 膜厚1.1 μmで $J_{sc}=25.5$  mA/cm<sup>2</sup>と $\eta=8.2\%$ を実現した。
- 膜厚2.2 μmでは赤外感度がさらに増大し、 $J_{sc}=27.2$  mA/cm<sup>2</sup>を得た。  
(逆バイアス印加では $J_{ph}\sim 28$  mA/cm<sup>2</sup>)

独立行政法人 産業技術総合研究所

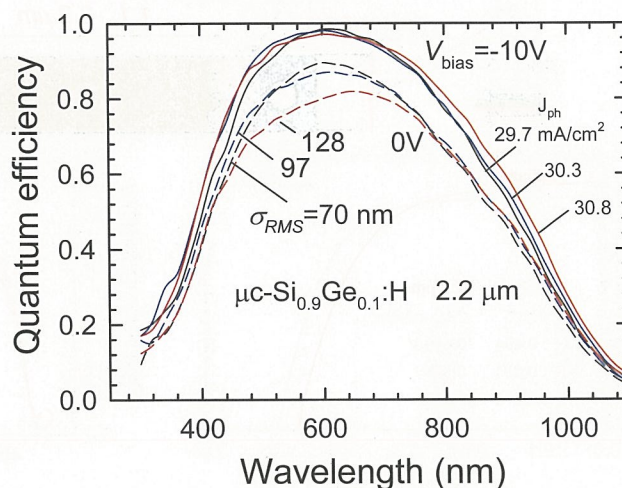
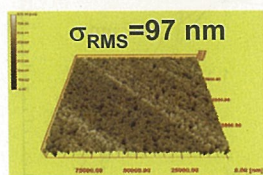
### 3-1. さらなる高電流化に向けた検討 - 逆タイプ(n-i-p)セル -



- 表面TCOの反射防止効果( $n_{TCO}^2 \sim n_{air} n_{Si}$ )により高い量子効率ピークが得られる。
- テクスチャ基板の設計自由度が高く、より優れた光閉じ込めが期待できる。

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 3-2. さらなる高電流化に向けた検討 — 逆タイプ(n-i-p)セル—



- 基板ラフネスの増加にしたがって赤外感度が増加
- 逆バイアス印加状態で30mA/cm<sup>2</sup>を越える光電流値を確認
- さらなる高電流化とキャリア収集の改善が課題

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 4. まとめ

- 微結晶 $\text{Si}_{0.89}\text{Ge}_{0.11}$ 太陽電池は、アモルファスと結晶が混在した遷移領域で最も高い変換効率を示した。
- 赤外光照射下( $\lambda > 700\text{ nm}$ )では同じ膜厚の微結晶Siと比較して微結晶 $\text{Si}_{0.89}\text{Ge}_{0.11}$ 太陽電池の性能の優位性が示された。
- 高ヘイズで赤外透過率に優れたZnO:Ga基板と、微結晶 $\text{Si}_{0.89}\text{Ge}_{0.11}$ (1.1-2.2  $\mu\text{m}$ )の組み合わせにより、短絡電流密度: 25-27mA/cm<sup>2</sup>と変換効率: 7-8%の単接合太陽電池を得た。
- 微結晶 $\text{Si}_{0.89}\text{Ge}_{0.11}$ n-i-pセルでは、逆バイアス印加状態で30mA/cm<sup>2</sup>を越える光電流密度を確認した。

独立行政法人 産業技術総合研究所



# 高移動度透明導電膜を窓電極に用いた Si系太陽電池

シリコン新材料チーム 鯉田 崇

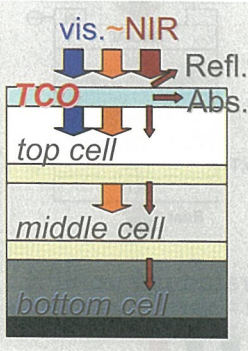
## 発表内容

- ・はじめに
  - なぜ近赤外透過・高移動度透明導電膜(NIR-TCO)の開発
  - 最近のNIR-TCO
  - NIR-TCOを用いた太陽電池
- ・  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{H}$  の構造・電気・光学特性
- ・  $\text{In}_2\text{O}_3:\text{H}$  を窓電極に用いた  $\mu\text{c-Si:H}$  薄膜太陽電池
  - 吸収損失低減  $\Rightarrow$   $J_{\text{sc}}$  増加  $\Rightarrow$  変換効率向上
  - a-Si:H/c-Siヘテロ接合型太陽電池との比較
- ・まとめ

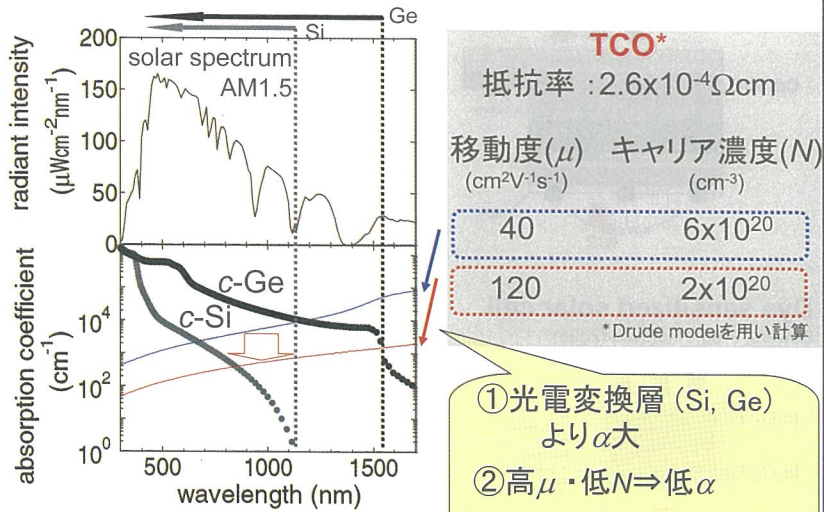
独立行政法人 産業技術総合研究所

# なぜ近赤外透過・高移動度TCOの開発？

多接合型  
薄膜太陽電池

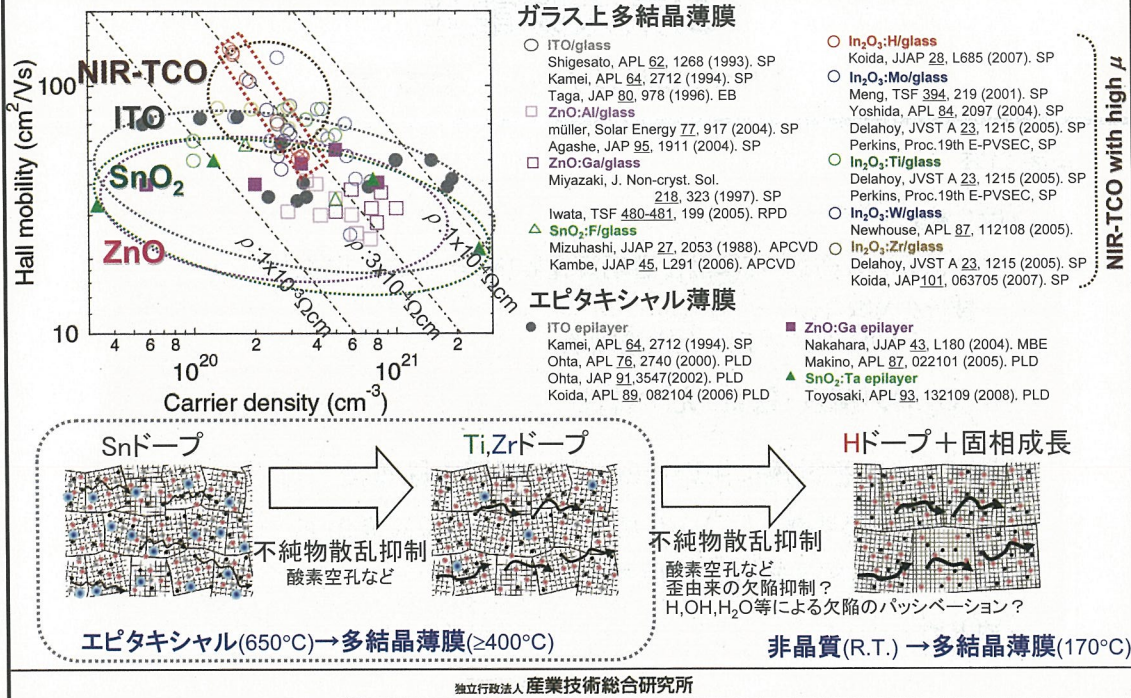


太陽光スペクトルとTCO & 光電変換層の吸収係数( $\alpha$ )

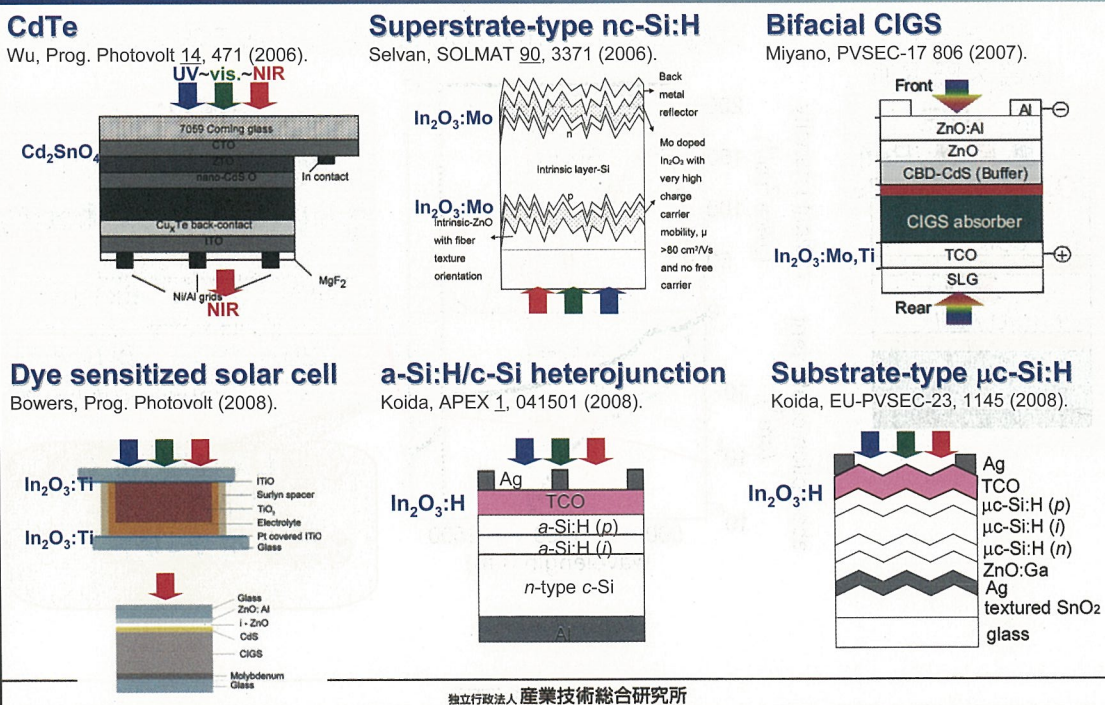


独立行政法人 産業技術総合研究所

# NIR-TCO vs 一般的なTCO



# 高移動度TCO：太陽電池への適用例

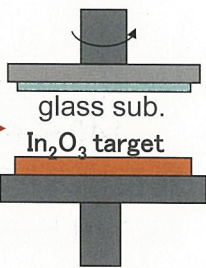


# In<sub>2</sub>O<sub>3</sub>:H高移動度透明導電膜

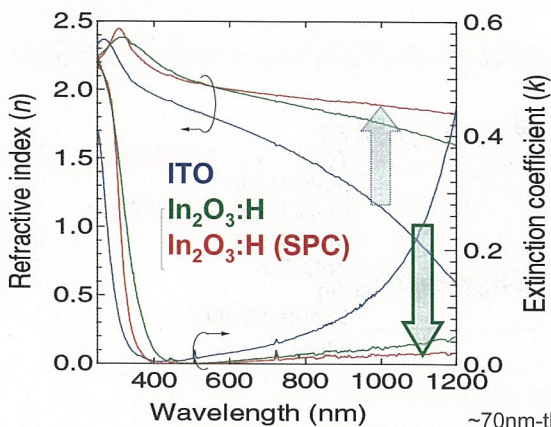
## rfマグネトロンスパッタ法

非加熱

Ar, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O →  
全圧: 0.5Pa  
水蒸気分圧: 1x10<sup>-4</sup>Pa



真空中ポストアニール  
~ 200 °C  
固相成長



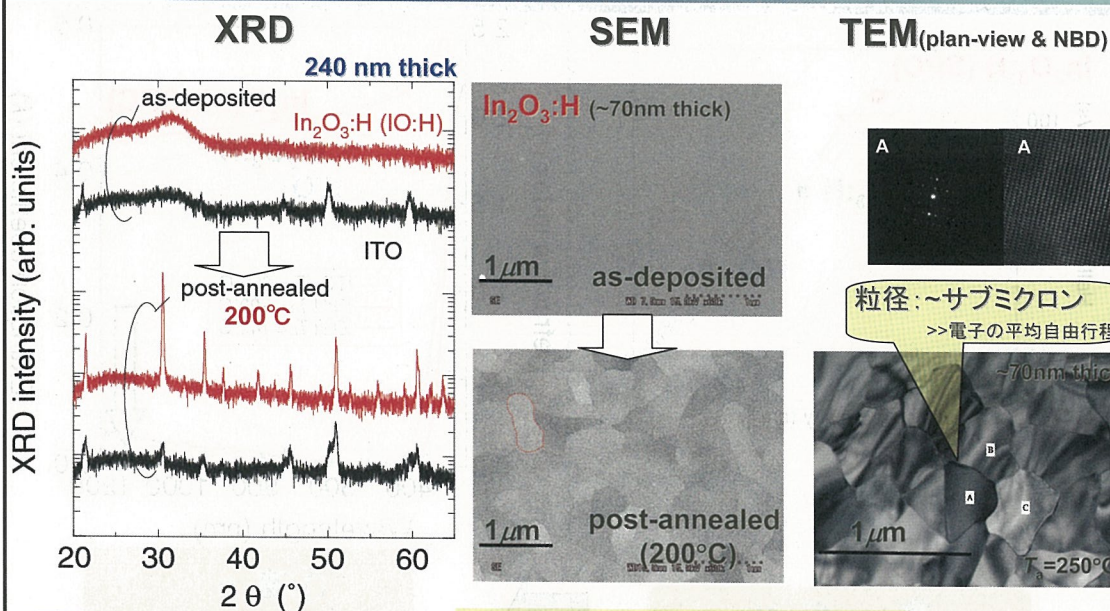
	ITO <sup>1)</sup>	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :H <sup>2)</sup>	In <sub>2</sub> O <sub>3</sub> :H <sup>2)</sup>
抵抗率 ρ (Ω cm)	2.1x10 <sup>-4</sup>	3.2x10 <sup>-4</sup>	3.1x10 <sup>-4</sup>
移動度 μ (cm <sup>2</sup> /Vs)	24	50	130
キャリア濃度 N (cm <sup>-3</sup> )	12.5x10 <sup>20</sup>	3.9x10 <sup>20</sup>	1.6x10 <sup>20</sup>

<sup>1)</sup> SnO<sub>2</sub>, 10wt.%含    <sup>2)</sup> H ~ 3at.%含

Jpn. J. Appl. Phys.46, L685 (2007).

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 構造特性

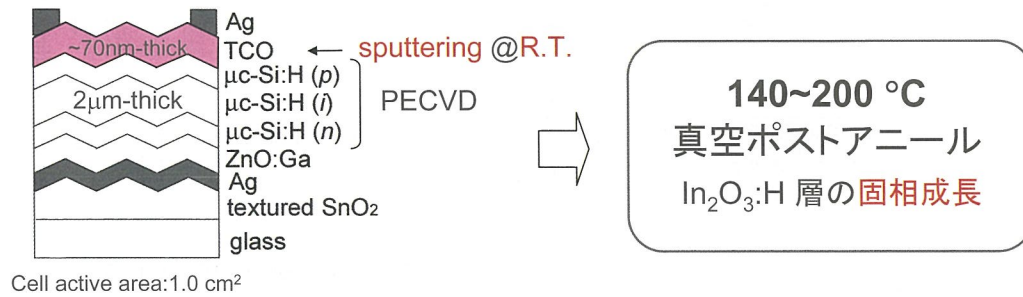


固相成長(≥150°C: T<sub>c</sub>)、ランダム配向、歪ほとんど無し、大粒径

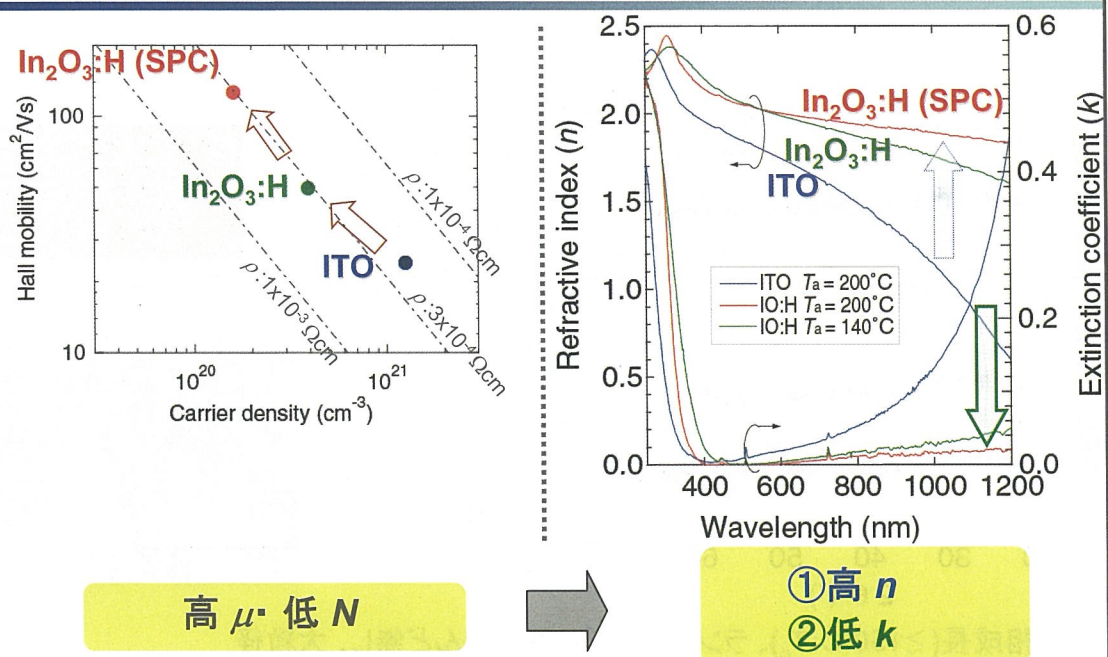
独立行政法人 産業技術総合研究所

# μc-Si:H 薄膜太陽電池

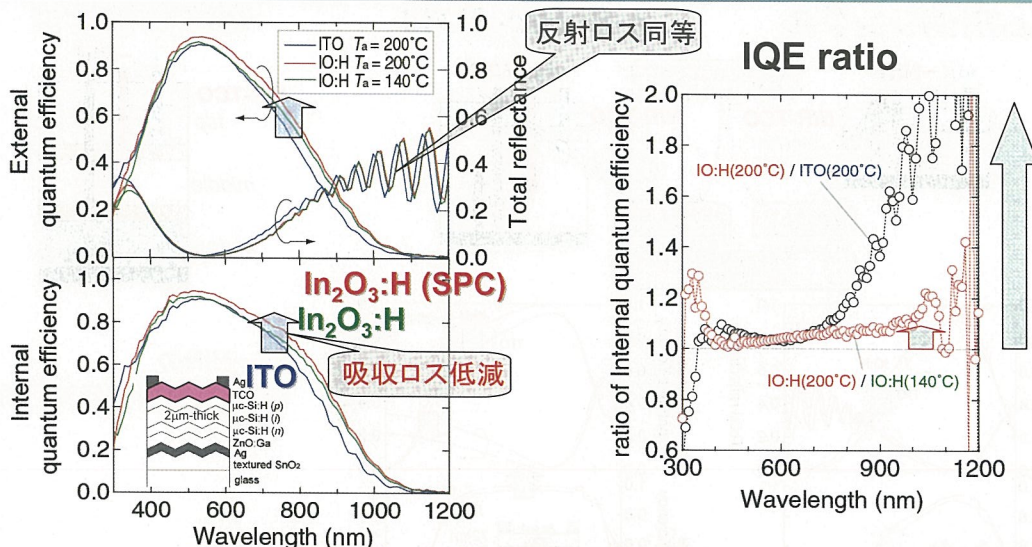
## μc-Si:H サブストレート型太陽電池



# TCO 電気・光学特性



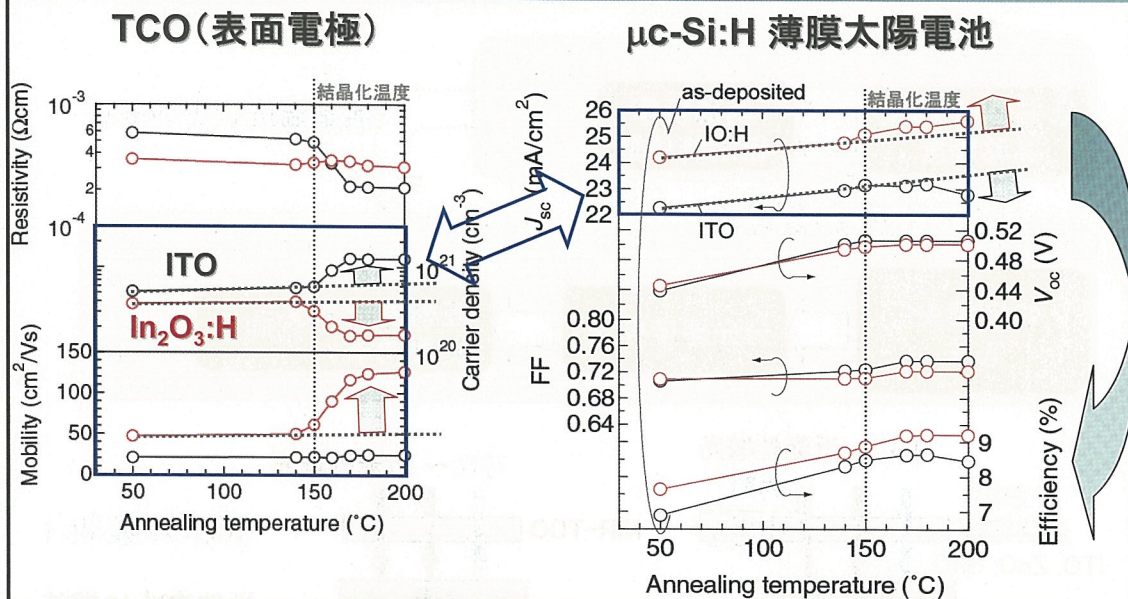
# 量子効率



吸収ロス低減 & 反射ロス同等

← 低 $k$  & 高 $n$  TCO@vis. ~ NIR

# TCOの電気特性 vs 太陽電池特性



低 $N$ , 高 $\mu$   $\Rightarrow$  低自由キャリア吸収  $\Rightarrow$  高QE  $\Rightarrow$  高 $J_{sc}$   $\Rightarrow$  高効率



# 薄膜シリコン太陽電池用光閉じ込め構造

Light trapping structures in thin-film silicon solar cells

シリコン新材料チーム 齋 均

Novel silicon material team Hitoshi SAI

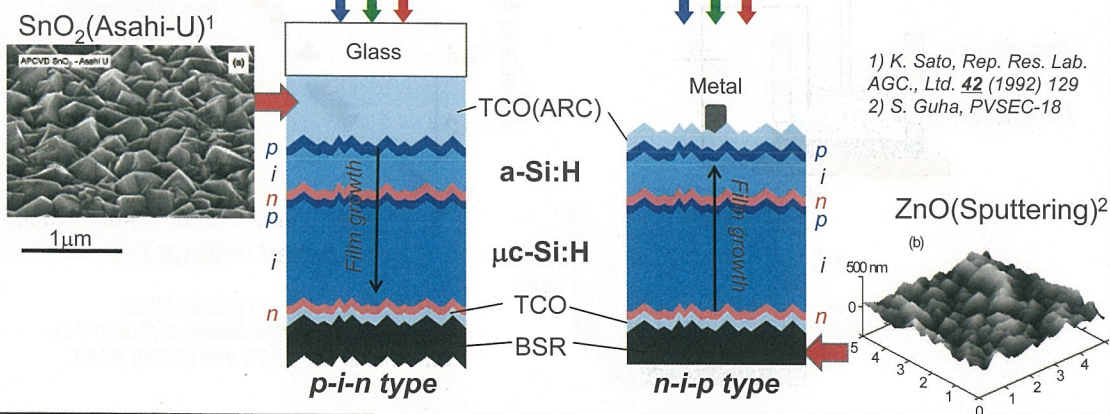
発表内容

1. 研究背景
2. 自己組織化構造を有する光閉じ込め基板
3. 太陽電池特性
4. まとめ

## 研究背景 background

薄膜シリコン太陽電池 ( $\alpha \times \text{thickness} \ll 1$ )

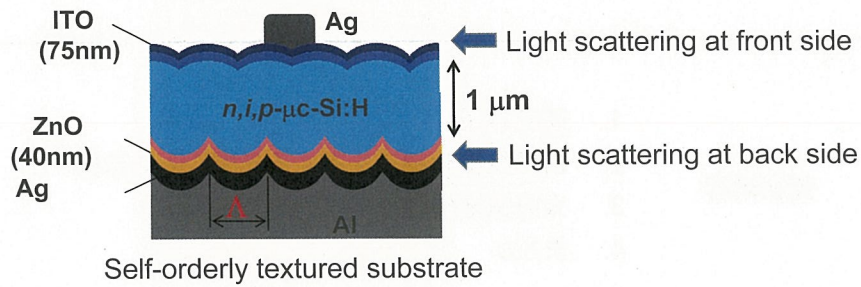
- 薄膜シリコン内部で光を十分吸収したい
  - キャリア輸送に必要な電位勾配(p-i-n構造)を強める
  - 膜厚低減によって生産性を向上させたい
- $J_{SC}$   
 -  $V_{OC}, FF$   
 - Low-cost
- } 薄膜 + 光閉じ込め



## 研究目的・方法

ミドル／ボトムセルに好適な微結晶シリコン( $\mu\text{c-Si:H}$ )薄膜に適した  
光閉じ込め構造について系統的な実験の報告例は無い → 本研究

- 周期を広範囲に変化させた光閉じ込め基板の作製
- $\mu\text{c-Si:H}$ シングルセルにて光閉じ込め効果の周期依存性を検証
- 光閉じ込めに寄与する要因について検討

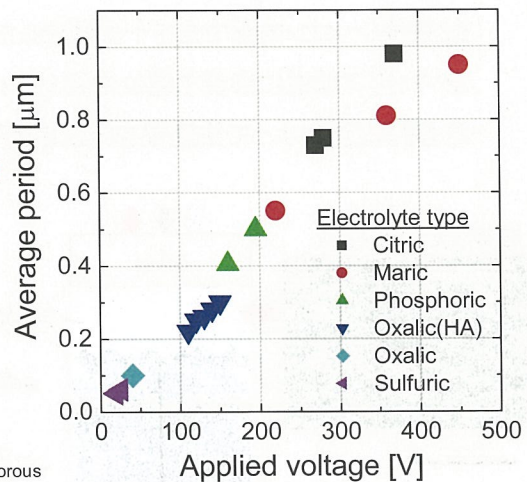
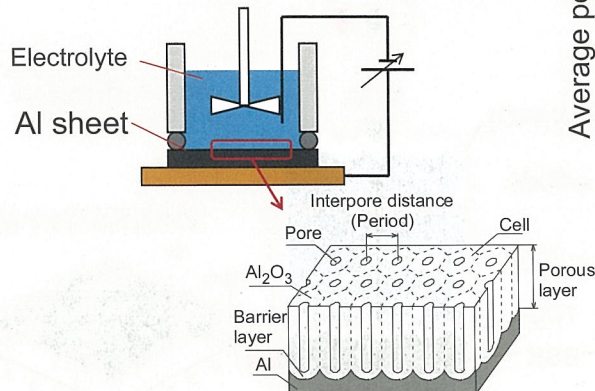


NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

## 陽極酸化法による基板作製

- Anodic oxidation: simple wet process
- Porous  $\text{Al}_2\text{O}_3$  with honeycomb structure
- Self-ordered dimple pattern on Al
- $\text{Period} \propto \text{Voltage}$

→ Controllability of period



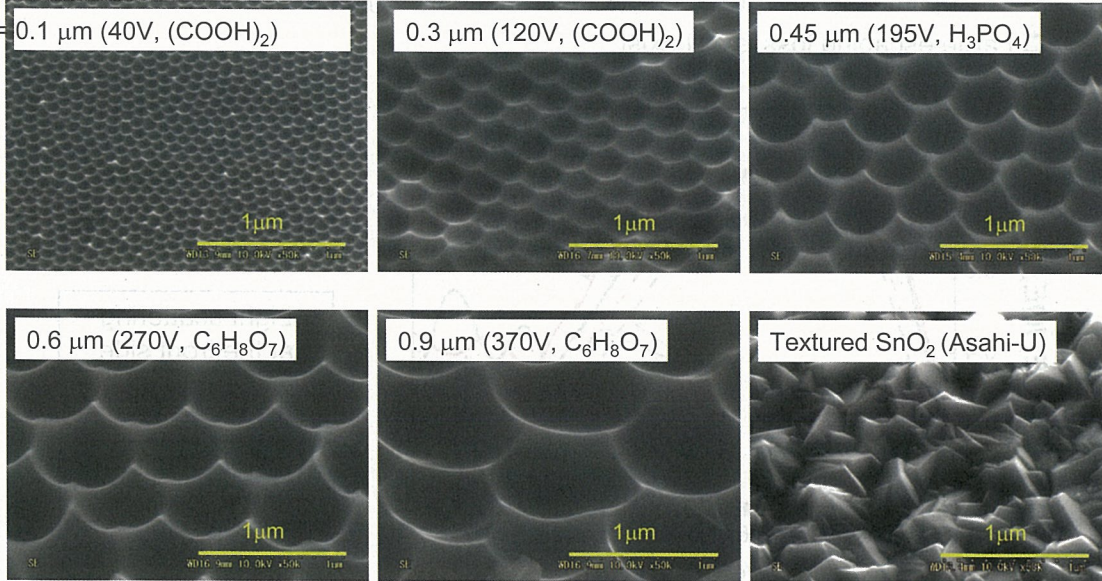
A.P. Li et al., JAP 84 (1998) 6023.  
W. Lee et al., Nature Mater. 5 (2006) 741.  
S.Z. Chu et al., JECS 153 (2006) B384.

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)



### 自己組織化構造を持つ基板

Aspect ratio ~ 0.2



\*H. Sai et al., *Appl. Phys. Lett.* **93**, 143501 (2008)

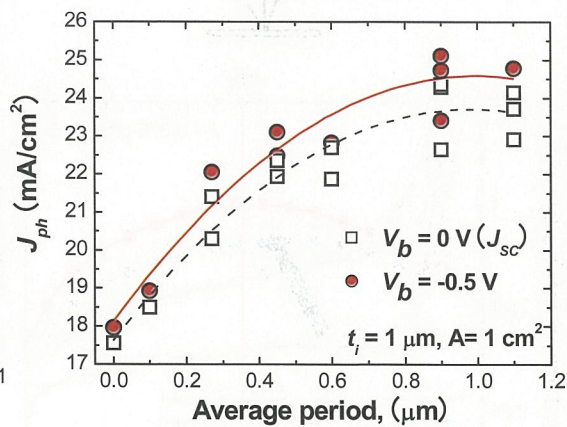
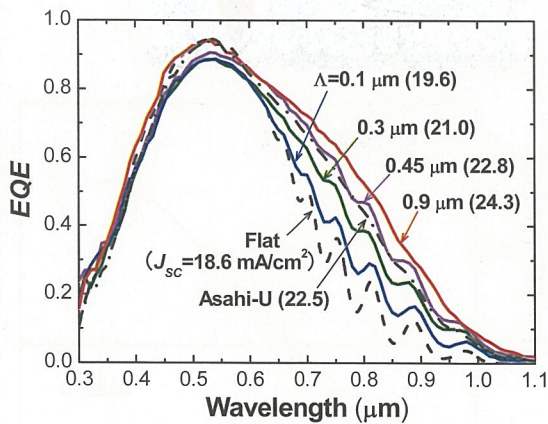
NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

### EQE (1-μm-thick cell)

□ Enhancement of IR response by increasing  $\Lambda$ .

□ Maximum  $J_{ph}$  is obtained at  $\Lambda \sim 1 \mu\text{m}$ .

□  $J_{SC} > 25 \text{ mA/cm}^2$  is within reach.

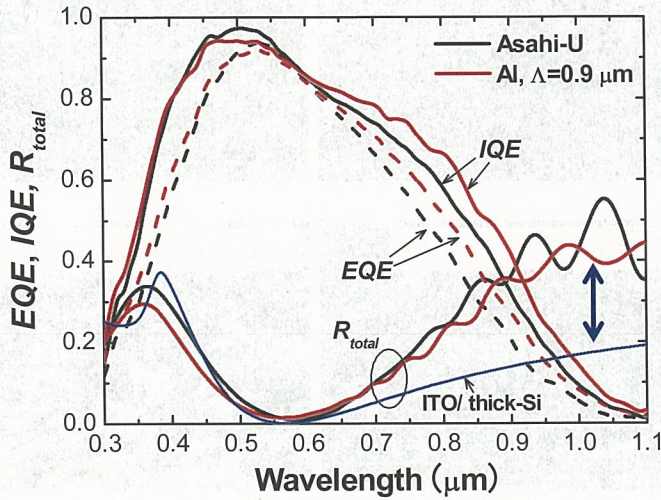


\*H. Sai et al., *Appl. Phys. Lett.* **93**, 143501 (2008)

NATIONAL INSTITUTE OF ADVANCED INDUSTRIAL SCIENCE AND TECHNOLOGY (AIST)

### IQE (1- $\mu\text{m}$ -thick cell)

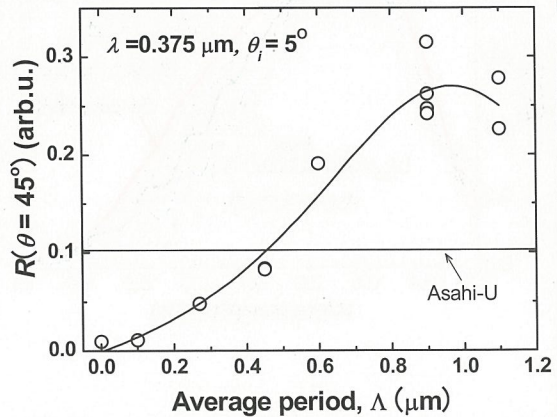
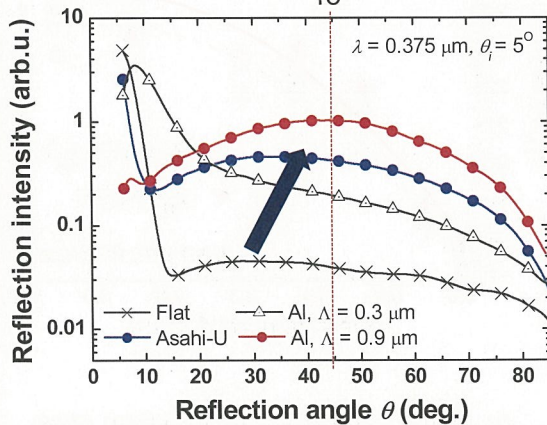
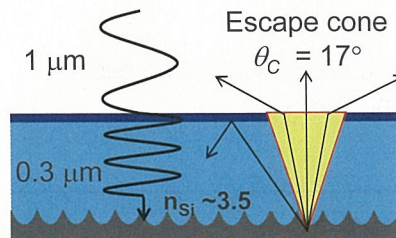
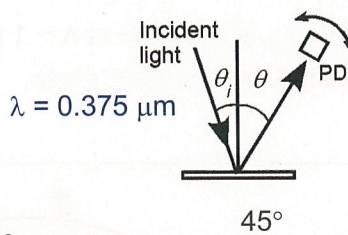
- The optimized BSR gives a higher IQE in the IR region.
- Large escaping loss is still exist.



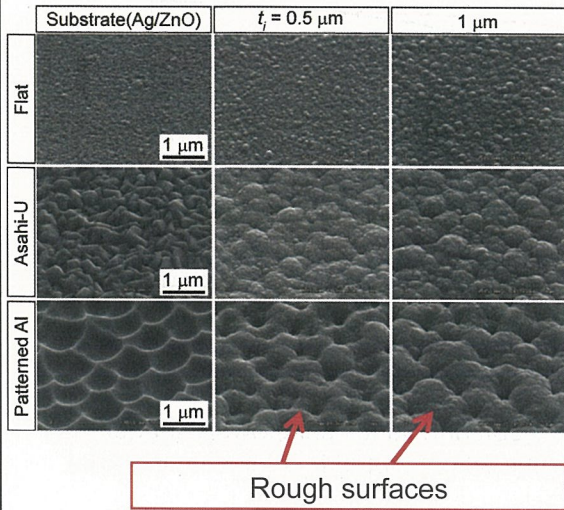
Possible reasons:

- Light scattering at the rear side
- +
- Light scattering at the front side
- +
- Higher reflectivity at the rear side

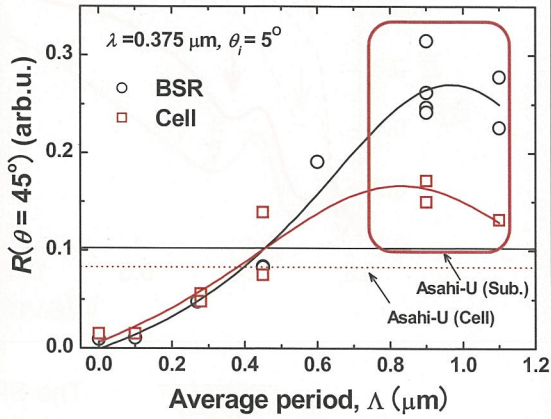
### 基板(セル裏面)での光散乱



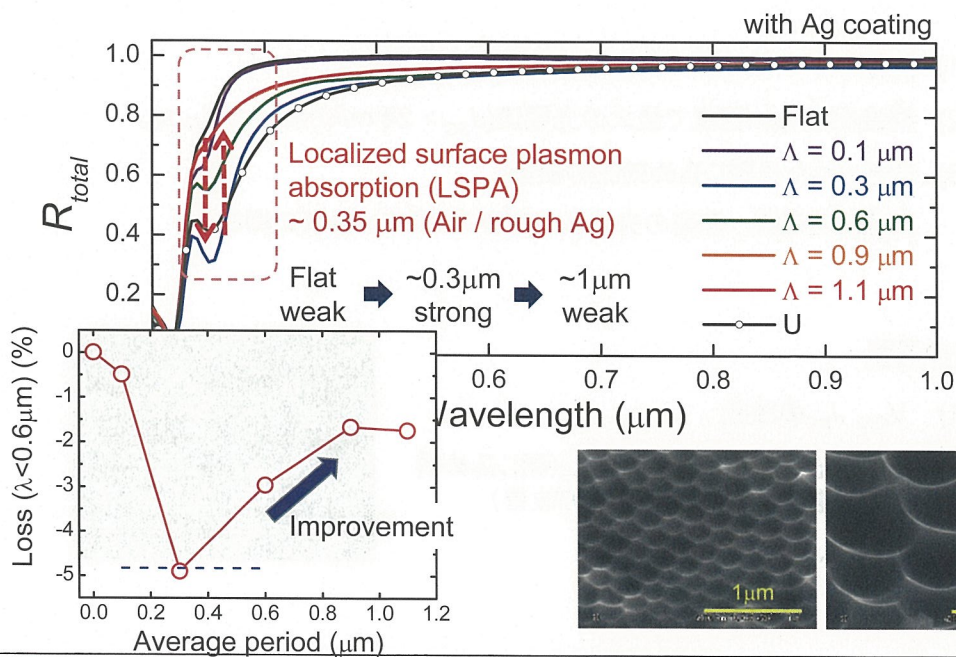
### セル表面での光散乱



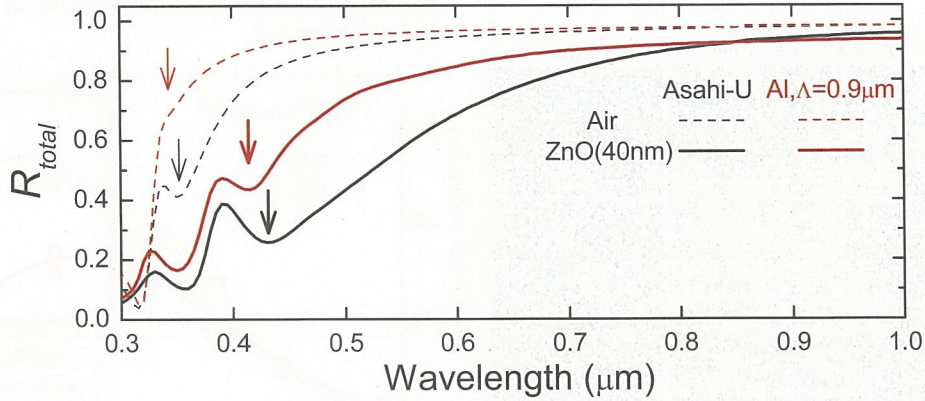
Strong light scattering occurs at the both sides.



### 裏面反射率



### 裏面反射率



$$k_{sp} = \frac{\omega}{c} \sqrt{\frac{\epsilon_1 \epsilon(\omega)}{\epsilon_1 + \epsilon(\omega)}}$$

The SPP peak and its tail shift toward longer wavelengths when coated by dielectric material.

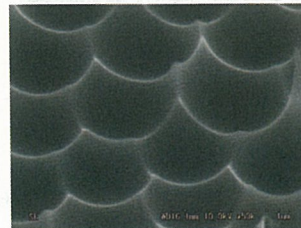
➡ Absorption loss at the rear side.

### まとめ

- (1) 周期 0.1 ~ 1.1  $\mu\text{m}$ の自己組織化基板を実現。
- (2) 構造周期1 $\mu\text{m}$ 程度で最大の光電流( $J_{SC} > 24 \text{ mA/cm}^2$ ,  $t_i = 1\mu\text{m}$ )。
- (3) 改善された光閉じ込め効果の要因:  
裏面の光散乱、表面の光散乱、表面プラズモン吸収の抑制

### 今後の展開

- (1)  $V_{OC}$ ,  $J_{SC}$ の改善
- (2) 更なる光閉じ込め効果の向上(閉じ込め構造の表裏独立制御、反射率の改善)
- (3) タンデムセルへの展開



## 薄型結晶シリコン太陽電池の開発

結晶シリコンチーム  
高遠 秀尚

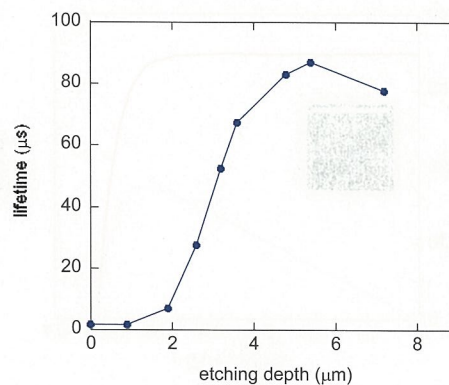
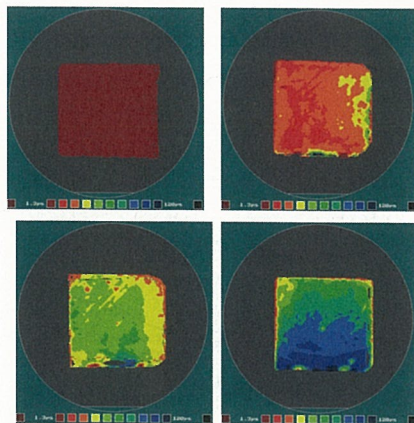
### 概要

結晶シリコン太陽電池の薄型化、高効率化を目指した研究

1. シリコンウェハのワイヤーソーダメージの評価
2. 薄型結晶シリコンセルの作製プロセス
3. 薄型結晶シリコンセルの特性
4. まとめ

## シリコンウェハのダメージ層評価

単結晶シリコン基板のワイヤーソーダメージ評価



エッチング深さ(片面)とライフタイムとの関係

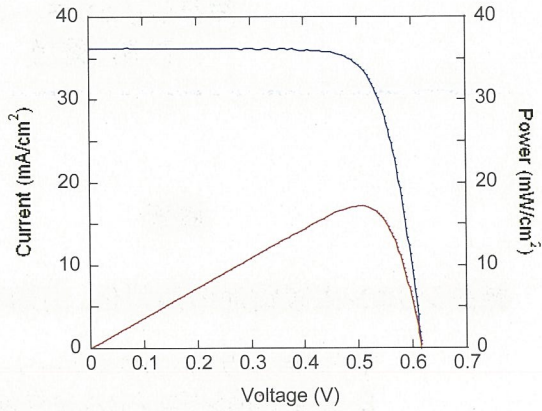
- ・シリコン層エッチング+ライフタイム測定
- ・キンヒドロン/メタノールによる表面パッシベーション

### 厚さ190 μm 単結晶シリコンセルの特性例

#### セル作製プロセス

1. テクスチャーエッチング  
(ダメージ層エッチング)
2. リン拡散
3. SiN膜形成
4. 電極形成  
(表Ag,裏Al スクリーン印刷)
5. 両面同時焼成

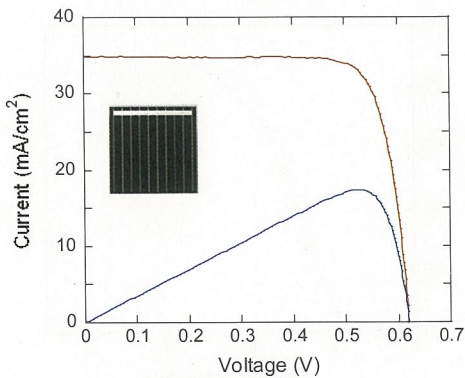
#### I-V 特性



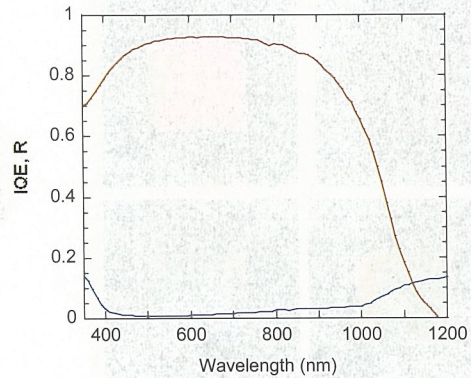
$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	Eff (%)
36.1	0.618	0.769	17.2

### 厚さ100 μm 単結晶シリコンセルの特性

#### I-V 特性

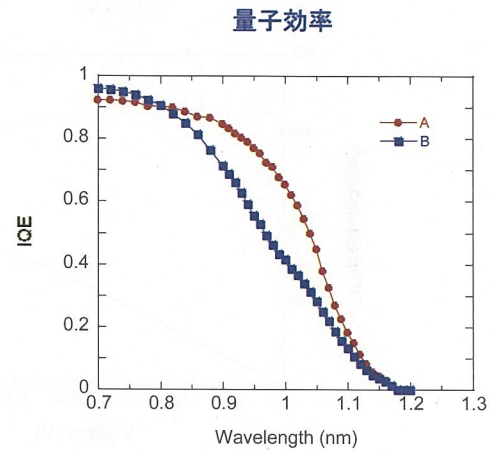
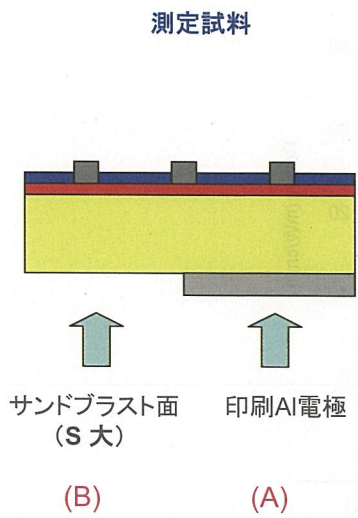


#### 量子効率

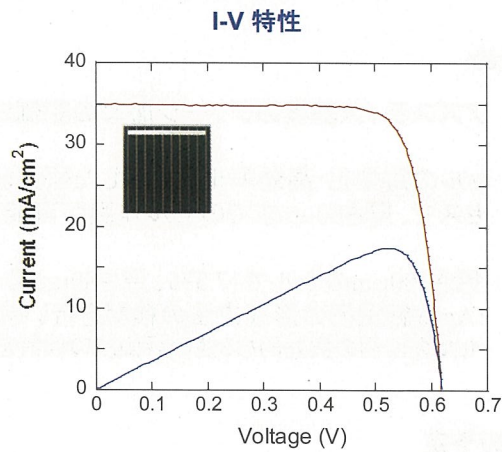
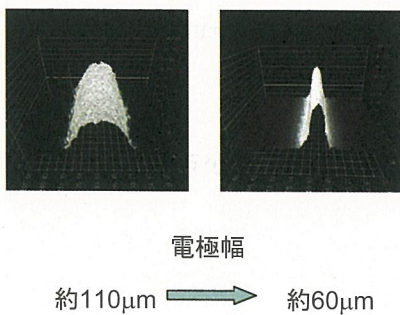


$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	Eff (%)
34.8	0.620	0.802	17.3
( 34.9	0.624	0.798	17.4 (厚さ180 μm))

### 厚さ100 $\mu\text{m}$ 単結晶シリコンセルの裏面電極の影響



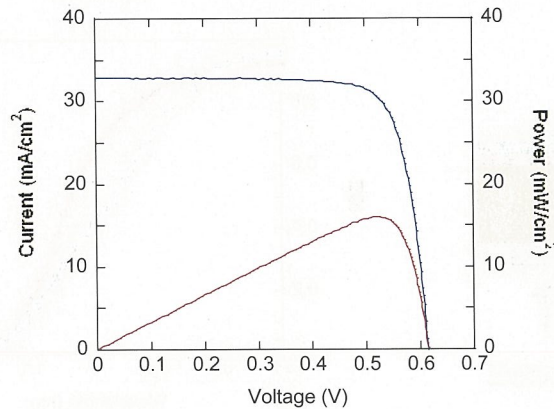
### 厚さ100 $\mu\text{m}$ 単結晶シリコンセルの特性(電極微細化)



$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	Eff (%)
35.5	0.617	0.789	17.3

## 厚さ80 $\mu\text{m}$ 単結晶シリコンセルの特性

### I-V 特性



$J_{sc}$ (mA/cm <sup>2</sup> )	$V_{oc}$ (V)	FF	Eff (%)
32.8	0.614	0.792	15.9

独立行政法人 産業技術総合研究所

## まとめと今後の予定

### まとめ

1. アズスライス基板のダメージ層厚の評価法の検討を行った。
2. セルの薄型化・高効率化を目指した研究を行い、“industry compatible” なプロセスで、厚さ80 $\mu\text{m}$ までのセル作製が可能となった。
  - ・厚さ100 $\mu\text{m}$ のセルで17.3%、厚さ80 $\mu\text{m}$ のセルで15.9%を得た。
  - ・Ag微細電極の形成方法の検討を行い約60 $\mu\text{m}$ 幅の電極形成が可能となった。
  - ・セル裏面側の実効的なS値の評価法の検討を行った。

### 今後の予定

- ・現在、並行して開発している技術をセルに取り入れ、薄型結晶シリコン太陽電池の高効率化を図る。

独立行政法人 産業技術総合研究所



平成21年6月23日  
 第五回・産業技術総合研究所  
 太陽光発電研究センター成果報告会

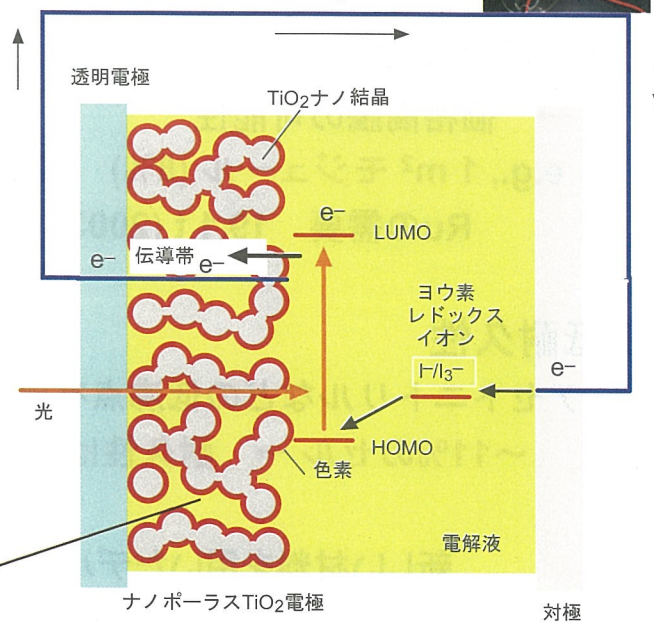
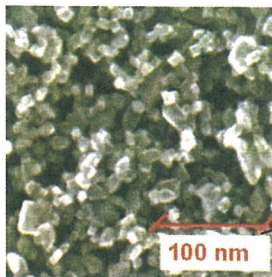
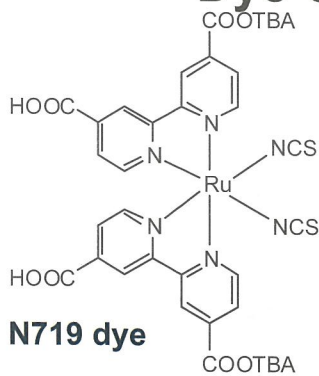
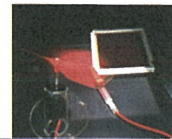
# 高性能・高耐久性を目指した 有機色素増感太陽電池

## Efficient and Stable Organic-Dye-Sensitized Solar Cells

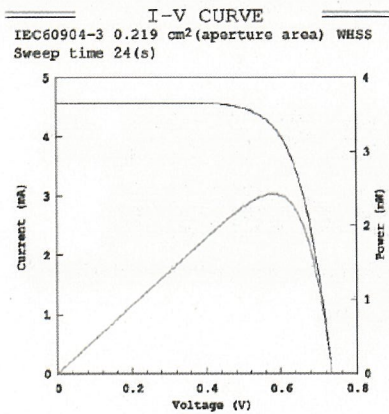
有機新材料チーム  
 原 浩二郎

# 色素増感太陽電池

## Dye-Sensitized Solar Cell



# 色素増感・最高効率 (SHARP)



Date : 27 Mar 2006  
 Data No : SHDBA31-01  
 Sample No : SHDBA31  
 Repeat Times : 3

Isc 4.57 mA  
 Voc 0.736 V  
 Pmax 2.429 mW  
 Ipmx 4.16 mA  
 Vpmx 0.583 V  
 FF 72.2 %  
 Bff(ap) 11.1 %  
 Mtemp. 25.0 °C  
 Mtemp. 25.0 °C  
 Dirr. 100.0 mW/cm²  
 Mirr. 100.3 mW/cm²

**11.1%**

**Jsc = 20.9 mA cm<sup>-2</sup>**

**Voc = 0.736 V**

**FF = 0.722**

**100 mW cm<sup>-2</sup>**

Ref. Device No JQA01+KG3(1t)  
 Cal. Val. of Ref. 74.5 [mA at 100mW/cm²]  
 Scan Mode  
 Weighted average of (Isc to Voc) and (Voc to Isc)

Chiba et al.  
 Jpn. J. Appl. Phys.  
 45, L638 (2006)



Fig. 3. Current-voltage characteristics of DSC sensitized with black dye. Results were measured at 25°C with an aperture area of 0.219 cm<sup>2</sup> using a black metal mask and irradiance of 100.0 mW/cm<sup>2</sup>. Short circuit current I<sub>SC</sub> = 4.57 mA; short circuit current density J<sub>SC</sub> = 20.9 mA/cm<sup>2</sup>; open circuit voltage V<sub>OC</sub> = 736 mV; fill factor FF = 72.2%; maximum power voltage V<sub>P<sub>MAX</sub></sub> = 583 mV; maximum power current I<sub>P<sub>MAX</sub></sub> = 4.16 mA; maximum power P<sub>MAX</sub> = 2.429 mW; efficiency = 11.1%. The solid line and dashed line indicate current and power, respectively. This measurement was independently carried out by the Research Center for Photovoltaics, AIST.

**12.3% (Graetzel et al. 2009.3.) Ru dye**

## 色素増感太陽電池・実用化への問題点

### ○ 貴金属Ruの資源的制約

→ 価格高騰の可能性

e.g., 1 m<sup>2</sup> モジュール (8%) 100万kW → Ru 1.3トン

Ruの需要 19.1 t (2003) → 18.6 t (2004)

(田中貴金属資料)

### ○ 低耐久性

アセトニトリルなどの低沸点有機溶媒の電解液

〜11%のセル → 耐久性は期待できない

新しい材料を用いたデバイス開発が必要不可欠

## 問題点を解決するため

### 高性能・高耐久性の有機色素増感太陽電池

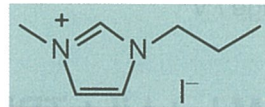
#### ○ 有機色素

Ru錯体に比べて資源的制約が少ない

高光吸収係数、構造の多様性、大量生産性

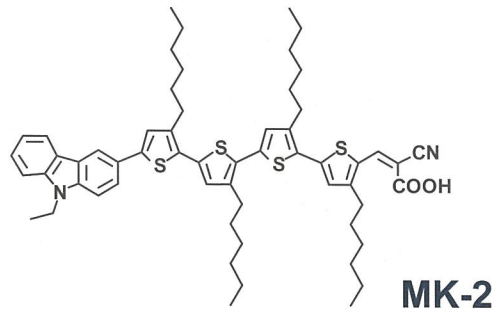
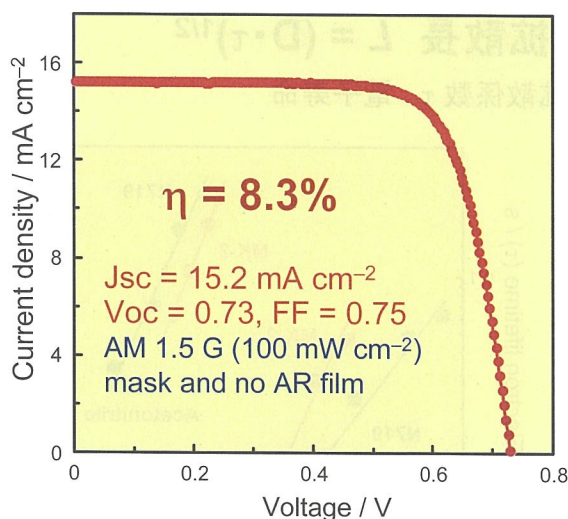
#### ○ イオン液体電解液

難揮発性 → 高耐久性の可能性



MPlmI

## 最高変換効率 (有機溶媒系電解液)



Irradiated light  
 AM 1.5G (100 mW cm<sup>-2</sup>)  
 with mask, without AR film

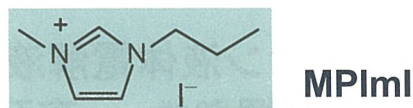
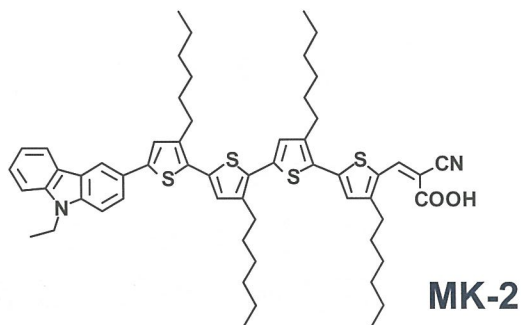
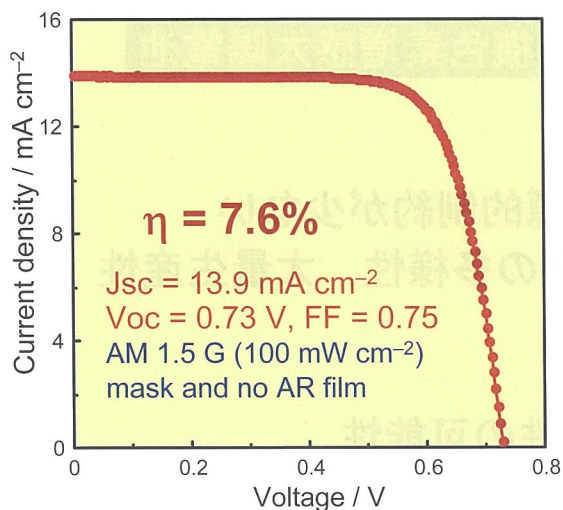
TiO<sub>2</sub> electrode: 16 μm

Electrolyte  
 0.6 M DMPImI + 0.1 M Lil +  
 0.2 M I<sub>2</sub> + 0.5 M TBP / AN

$\eta = 9.2\%$  (N719)  
 $J_{sc} = 15.9 \text{ mA cm}^{-2}$   
 $V_{oc} = 0.78, FF = 0.74$

Wang et al., *Chem. Mater.* 2008, 20, 3993

# イオン液体電解液 (MK-2)



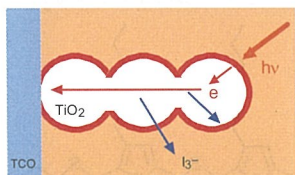
$\eta = 6.2\%$  (N719)  
 $J_{sc} = 12.2 \text{ mA cm}^{-2}$   
 $V_{oc} = 0.68, FF = 0.75$

## Electrolyte

**MPlmI + 0.4M I<sub>2</sub> + LiI + TBP**

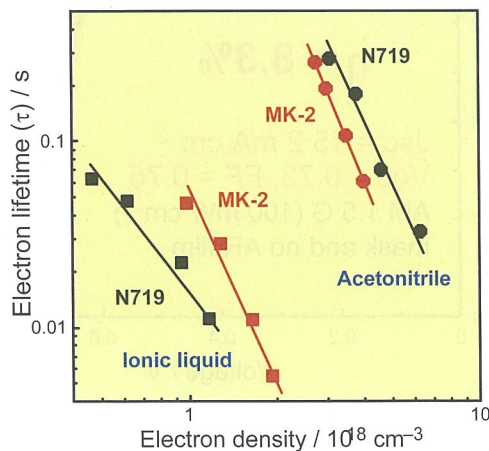
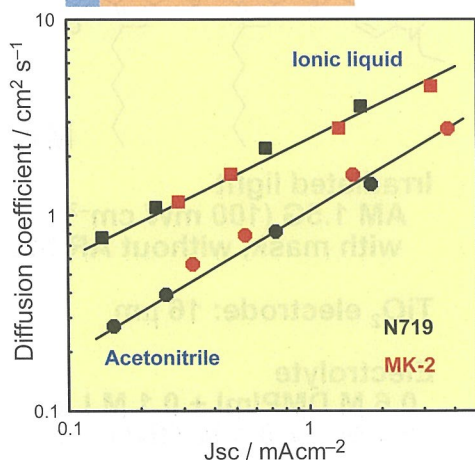
Wang et al., Chem. Mater., In press

# 電子寿命と拡散係数(イオン液体電解液)



電子の拡散長  $L = (D \cdot \tau)^{1/2}$

D: 拡散係数  $\tau$ : 電子寿命

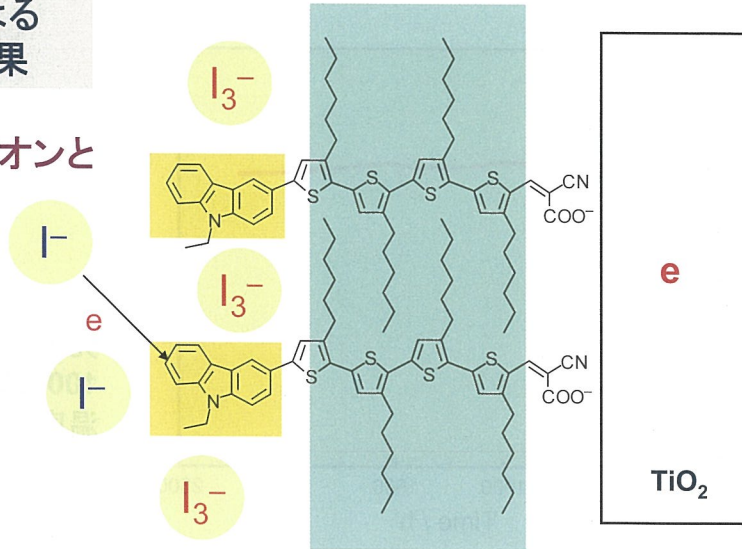


**イオン液体電解液 → MK-2がN719よりも長い電子寿命**

# MK-2の分子設計戦略

アルキル基による  
ブロッキング効果

酸化チタンとI<sub>3</sub><sup>-</sup>イオンとの再結合抑制



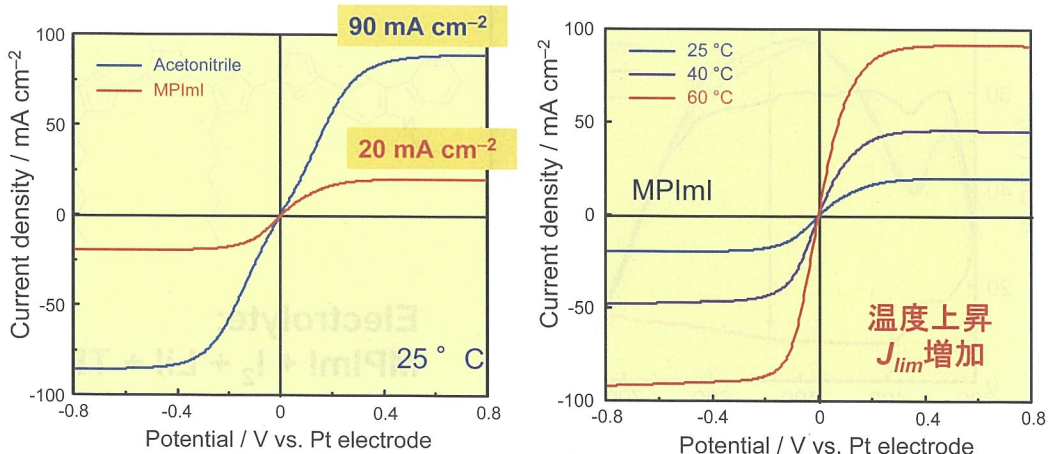
MK-2 → イオン液体電解液に適している

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 限界電流密度 $J_{lim}$ の評価

限界電流密度  $J_{lim} = nFm_0C_0$

F: ファラデー定数  
m<sub>0</sub>: 拡散係数, C<sub>0</sub>: 濃度

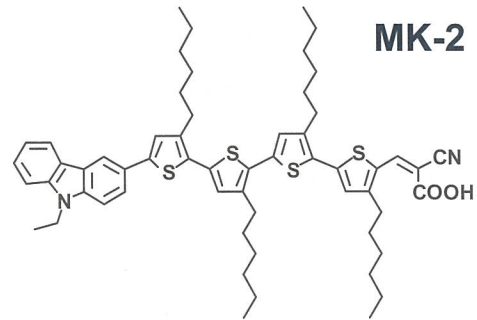
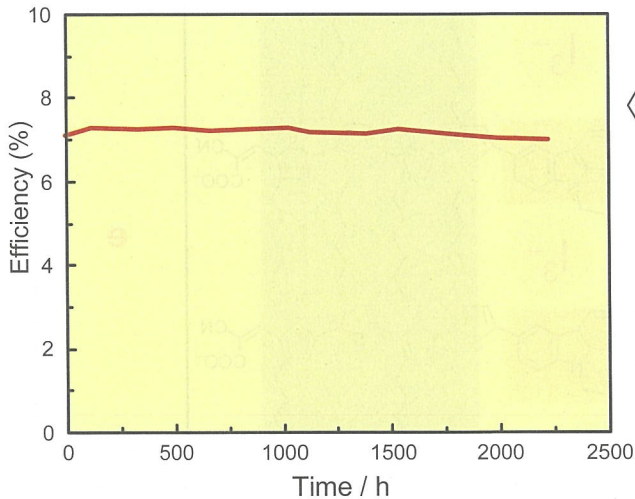


イオン液体電解液  
MPImI + 0.4 M I<sub>2</sub>

$J_{lim} = 20 \text{ mA cm}^{-2} (25 \text{ }^\circ\text{C})$

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 光電変換特性の耐久性(MK-2)

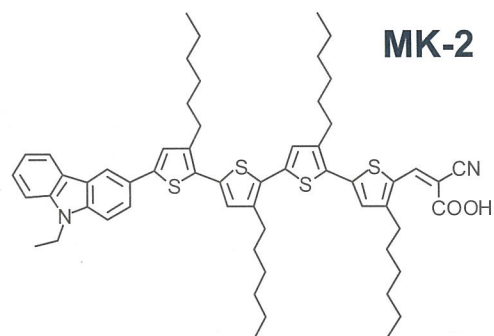
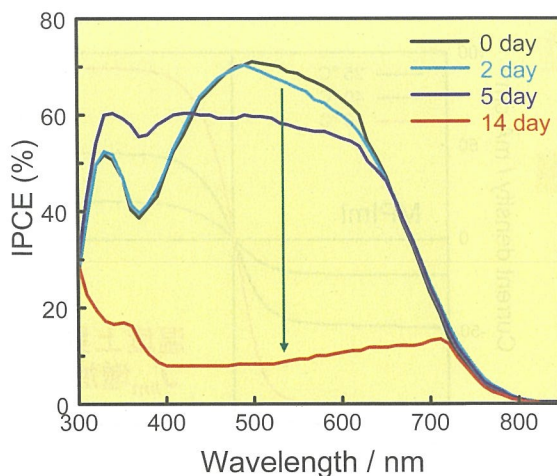


光照射条件  
 100 mW cm<sup>-2</sup> (UV cut off)  
 温度 約50°C

**7%の高効率  
 で十分な耐久性**

Electrolyte : MPImI + 0.4M I<sub>2</sub> + Lil + TBP

## 熱耐久性試験 (80 °Cの暗所下保存)

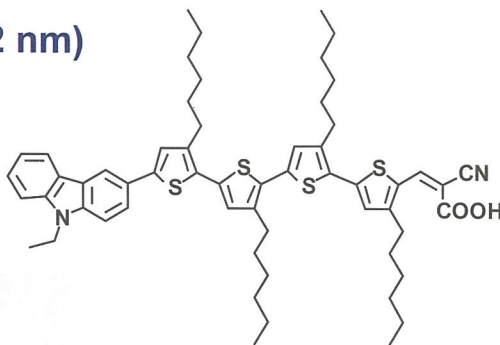
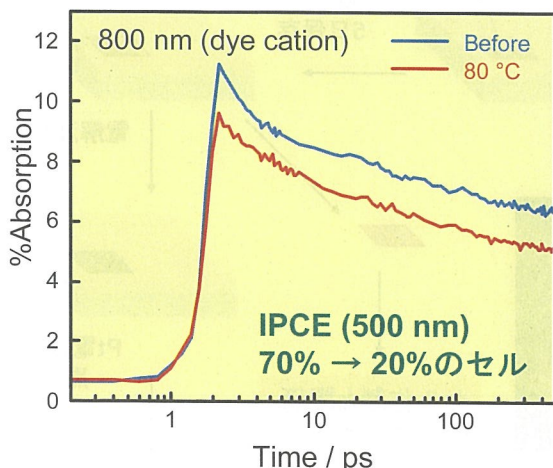


Electrolyte:  
 MPImI + I<sub>2</sub> + Lil + TBP

**IPCE特性 → 大幅に低下**

## 過渡吸収測定 (80 °C保存後)

拡散反射過渡吸収測定 (励起532 nm)

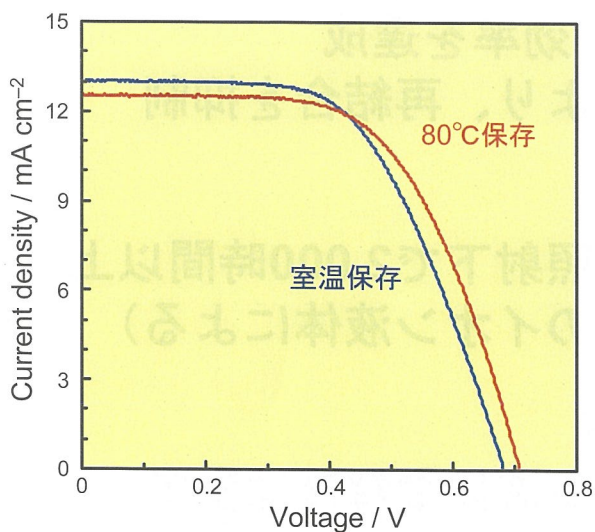


MK-2

電子注入効率  
の低下 → 15%

電子注入過程  
→ ほぼ問題なし  
(色素は安定)  
電解液の変化が原因か

## イオン液体電解液の耐熱性



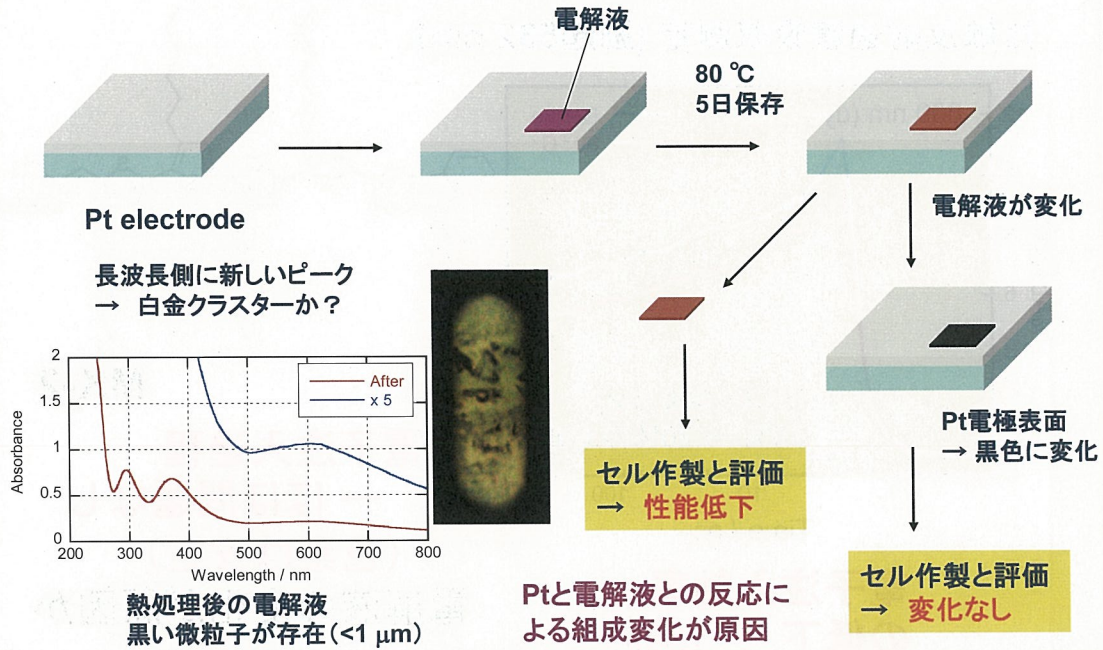
80 °C  
10日保存

セル作製、評価

性能の低下なし  
イオン液体電解液  
→ 耐熱性問題なし

Pt対極が原因か？

## 白金対極とヨウ素電解液の反応



独立行政法人 産業技術総合研究所

## まとめ

有機色素MK-2とイオン液体電解液

→ 7%を越える効率を達成

分子構造により、再結合を抑制

→ 良好な耐久性

疑似太陽光照射下で2,000時間以上

(難揮発性のイオン液体による)

80 °Cでは低下

色素やイオン液体電解液は安定

独立行政法人 産業技術総合研究所



# 高分子系有機薄膜太陽電池の高性能化 Development of Highly Efficient Polymer-based Organic solar Cells

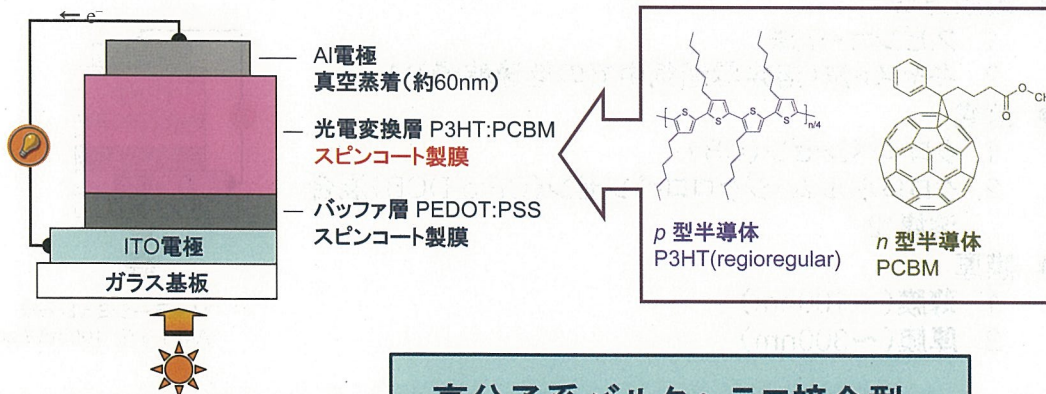
有機新材料チーム  
Advanced Organic Material Team

山成敏広  
Toshihiro Yamanari

## 内容

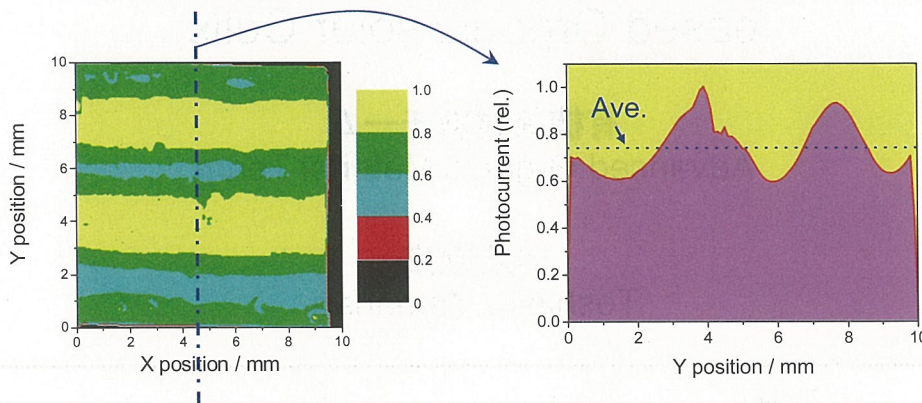
1. 光電流分布ムラの改善と高効率化
2. 劣化機構の解明

## 高分子系バルクヘテロ接合型 有機薄膜太陽電池



高分子系バルクヘテロ接合型  
有機薄膜太陽電池  
☆ 塗るだけで作製できる  
☆ 高い変換効率

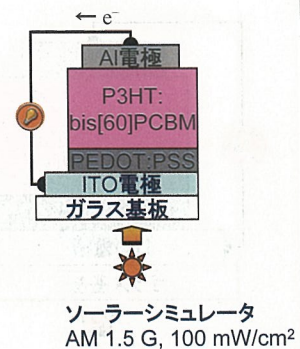
## 高分子系P3HT:PCBMセルの光電流分布 (前回報告:昨年度成果報告会)



ミリオーダーで光電流分布にムラがある。  
 → 実用化(大面積)への障害となる。  
 均一かつ高効率なセルの開発が必要。

## セル作製(発電層の製膜)条件の検討

- 製膜方法
  1. スピンコート法
  2. キャスト法(溶媒雰囲気中での低速乾燥)\*1
- 溶媒
  1. クロロベンゼン(CB)
  2. クロロホルム・ジクロロベンゼン(CF:o-DCB)混合溶媒\*2
- 膜厚
  1. 薄膜(~100nm)
  2. 厚膜(~300nm)



\*1, \*2の製膜法を用いることで、高効率化に成功したという報告あり。  
 XRD(結晶性)・AFM(表面形状)などから、相分離構造の制御・改善が理由とされている。  
 → ミリオーダーの光電流ムラについて議論している報告は無い。

作製条件の最適化で、高効率かつ均一性の高いセルが作製できるのか？

# 太陽電池特性

## スピコート法

## キャスト法

薄膜 溶媒：CB		厚膜 溶媒：CB		薄膜 溶媒：CB		厚膜 溶媒：CB	
Jsc	6.78 [mA/cm <sup>2</sup> ]	Jsc	6.63 [mA/cm <sup>2</sup> ]	Jsc	5.94 [mA/cm <sup>2</sup> ]	Jsc	6.29 [mA/cm <sup>2</sup> ]
Voc	0.72 [V]	Voc	0.69 [V]	Voc	0.71 [V]	Voc	0.64 [V]
FF	0.63	FF	0.43	FF	0.60	FF	0.39
PCE	3.06 [%]	PCE	1.97 [%]	PCE	2.51 [%]	PCE	1.55 [%]
薄膜 溶媒：CF+o-DCB		厚膜 溶媒：CF+o-DCB		薄膜 溶媒：CF+o-DCB		厚膜 溶媒：CF+o-DCB	
Jsc	6.12 [mA/cm <sup>2</sup> ]	Jsc	8.02 [mA/cm <sup>2</sup> ]	Jsc	6.63 [mA/cm <sup>2</sup> ]	Jsc	8.66 [mA/cm <sup>2</sup> ]
Voc	0.59 [V]	Voc	0.67 [V]	Voc	0.68 [V]	Voc	0.73 [V]
FF	0.55	FF	0.52	FF	0.64	FF	0.63
PCE	2.00 [%]	PCE	2.80 [%]	PCE	2.88 [%]	PCE	3.96 [%]

### 各太陽電池特性の振れ幅

Jsc: 6.0~8.7 mA/cm<sup>2</sup>    FF: 0.39~0.64  
 Voc: 0.59~0.73 V        PCE: 1.6~4.0 %

# 作製条件と太陽電池特性の関係

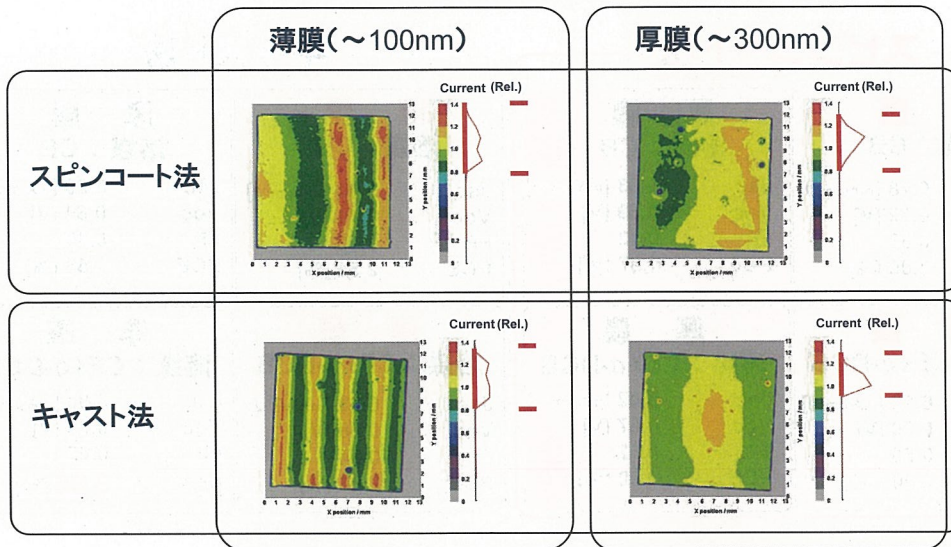
	スピコート		キャスト		
	薄膜	厚膜	薄膜	厚膜	
CB溶媒系	△	△	×	×	Jsc
	○	×	○	×	FF
	◎	○	◎	△	Voc
	○	×	△	×	PCE
CF:o-DCB 混合溶媒系	×	○	△	○	Jsc
	△	△	○	○	FF
	×	○	○	◎	Voc
	×	○	○	◎	PCE

CB溶媒系  
膜厚の影響大きい。  
(薄膜で性能高い)

CF:o-DCB混合溶媒系  
製膜法の影響が比較的大きい。  
膜厚の影響もある。  
(厚膜で性能高い)

溶媒系の違いの影響が非常に大きい。  
膜厚が同じでも太陽電池特性が異なる。  
→ 発電層の膜質(相分離構造)

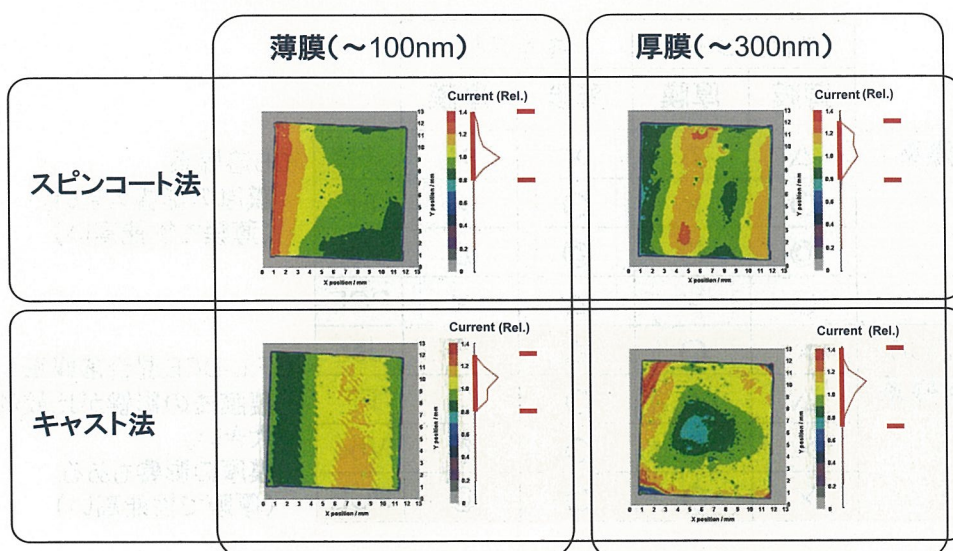
## 光電流分布1: CF:o-DCB混合溶媒系



※セルエリア内の光電流値の平均を1とする。

厚膜化することで分布ムラが改善された。  
製膜方法(スピコート・キャスト法)の影響は大きくない。

## 光電流分布2: CB単一溶媒系



※セルエリア内の光電流値の平均を1とする。

顕著な分布ムラの改善は見られなかった。単一溶媒系では制御が困難。

# 作製条件と太陽電池特性・光電流ムラの関係

	スピコート		キャスト		
	薄膜	厚膜	薄膜	厚膜	
CB溶媒系	○	△	△	×	ムラ
	△	△	×	×	Jsc
	○	×	○	×	FF
	◎	○	◎	△	Voc
	○	×	△	×	PCE
CF:o-DCB 混合溶媒系	×	○	×	○	ムラ
	×	○	△	○	Jsc
	△	△	○	○	FF
	×	○	○	◎	Voc
	×	○	○	◎	PCE

光電流ムラ  
Jsc: 相関強い  
FF: 相関あり



均一性の高いセルは、  
変換効率も高い。

# P3HT:PCBMセルの安定性試験

## 各環境下でのセルの劣化

	暗所	光照射 (AM1.5G, 1sun, 連続50時間)
不活性ガス (窒素)中	劣化しない。	①特性( $J_{SC}$ , $V_{OC}$ , FF)が低下するが、熱アニール処理により回復する。
大気中	② $J_{SC}$ のみ低下する。熱処理では回復しない。	①と②が独立して両方起こっている。

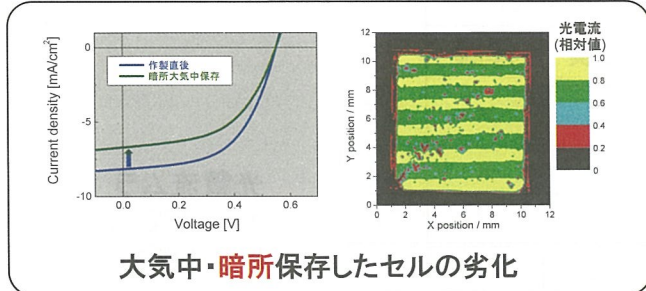


- 大気中の酸素・水分でAl電極が酸化されている？



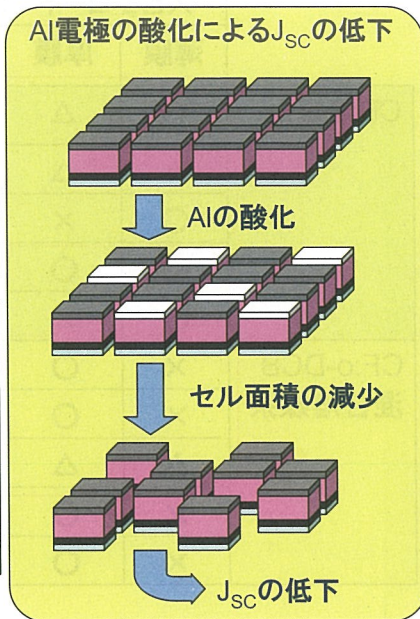
- 光照射による活性分子(P3HT, PCBM)の分解は無い。

# 大気中・暗所での劣化メカニズム (前回報告:昨年度成果報告会)



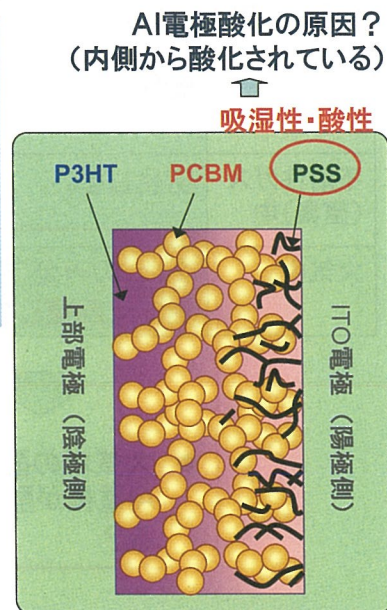
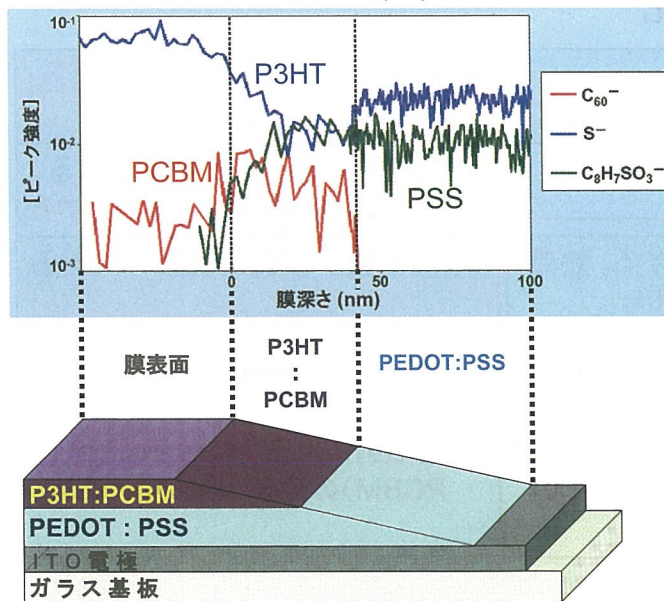
大気中・暗所での劣化

- J<sub>SC</sub>が低下。スポット状に現れる。熱処理で回復しない。
- 酸素・水分でAl電極が酸化されている？
- Al電極の酸化は、外側(表面)から？内側(有機層との界面)から？



# 斜め切削法及びTOF-SIMSによる内部構造解析

(応用物理学会2008春, 東レ(株) 山本ら, 27p-C-1)



# 大気中・暗所でのセルの安定性に対するバッファ層の影響

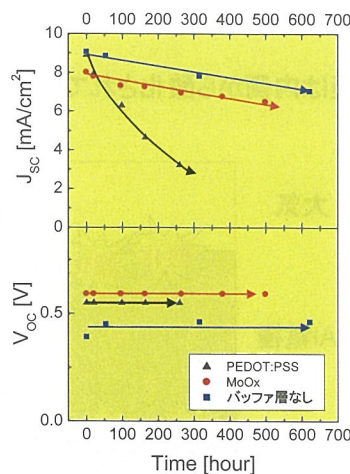
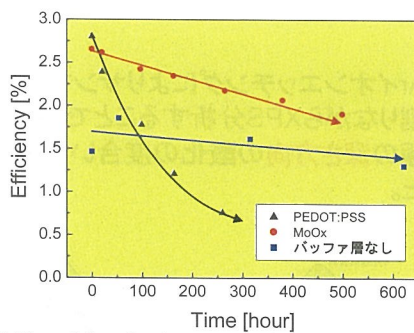
- Al電極は酸化されているのか？外側から？内側から？
- PEDOT:PSSはAl電極の酸化を促進しているか？



➤ 本研究では、バッファ層としてPEDOT:PSSあるいは酸化モリブデン (MoOx)を用いたセル、バッファ層を挿入しないセルの3種類のセルの大気中・暗所での劣化挙動を比較検討した。また、Arイオンエッチングによる深さ方向のXPS分析により、Al電極の酸化状態の観測を行った。



# 大気中・暗所でのセル特性の低下



特性の低下傾向:

バッファ層なし < MoOx << PEDOT:PSS

- PEDOT:PSSを用いたセルは初期特性は高いが劣化が早い。

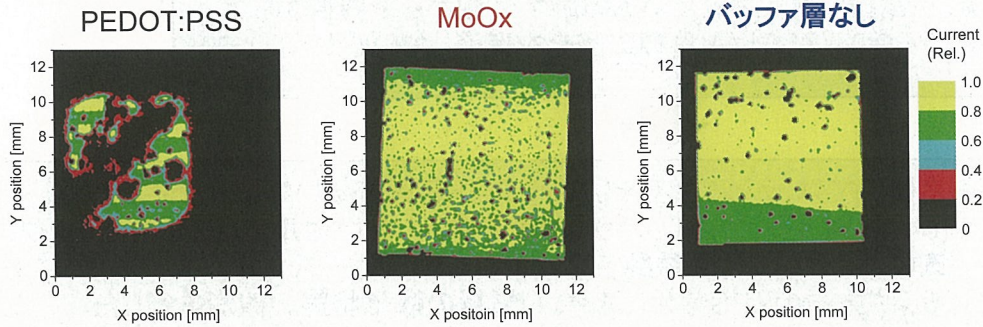
大気中暗所で保存(約300時間)したセルの光起電流分布の比較を行った。

- どのセルでも劣化するパラメータは同じ

  1.  $V_{oc}$ は一定。
  2. 変換効率の低下は $J_{sc}$ の低下による。

## 光起電流分布 – 劣化セルの比較

大気中・暗所(約300時間)で劣化したセルの光起電流分布

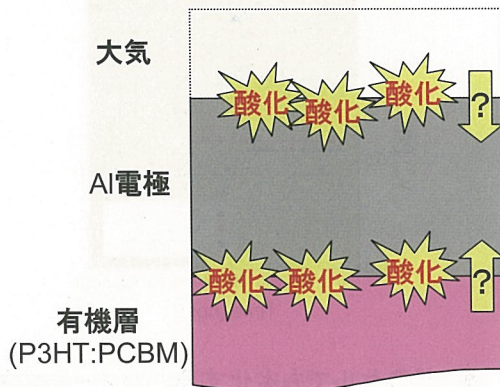


- スポット状の劣化の度合い  
バッファ層なし < MoOx << PEDOT:PSS
- $J_{SC}$  の低下の程度と同様の傾向である。
- ITO側のバッファ層が素子の劣化( $J_{SC}$  の低下)に影響を与えている。  
仮説「PEDOT:PSSによりAl電極が内側から酸化されている」を支持する。  
やはり、Alの酸化は内側から？

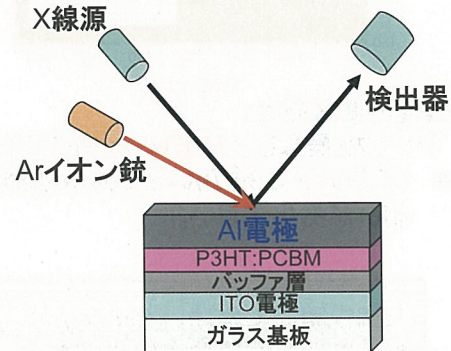
独立行政法人 産業技術総合研究所

## Al電極の酸化状態の観測

Al電極は内側から酸化されているのか？



- Arイオンエッチングによりサンプルを削りながらXPS分析することで、Al電極の深さ方向の酸化の度合いを調べた。

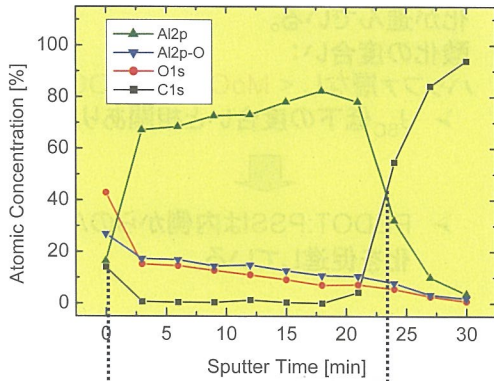


独立行政法人 産業技術総合研究所

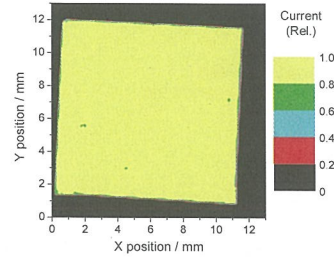


## Al電極の酸化状態 – 無傷セル

元素組成の深さ方向のプロファイル  
(Al・酸化Al・酸素・炭素)



劣化していないセル  
Al/P3HT:PCBM/PEDOT:PSS/ITO

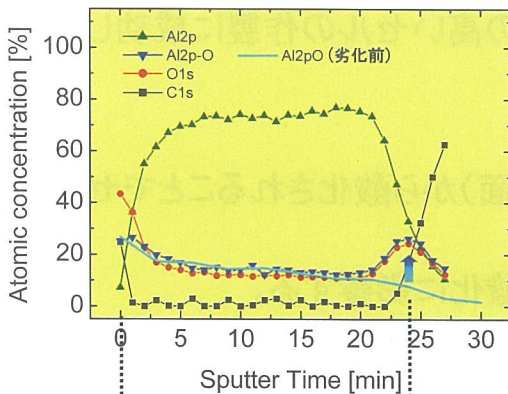


- Al電極表面は自然酸化されている (分析装置にセットするとき、一度大気中に出しているため)。
- Al電極内部は一定の元素組成である。

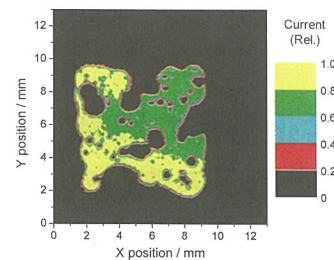


## Al電極の酸化状態 – 劣化セル

元素組成の深さ方向のプロファイル  
(Al・酸化Al・酸素・炭素)



劣化したセル  
Al/P3HT:PCBM/PEDOT:PSS/ITO

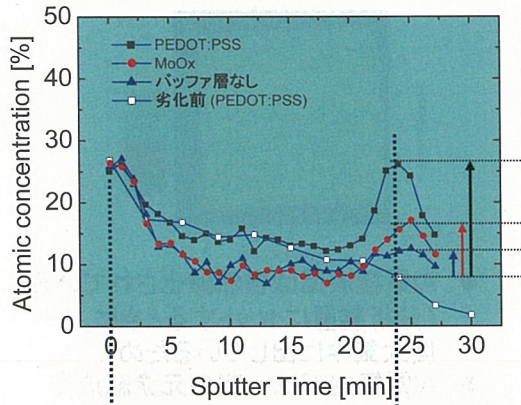


- Al電極と有機層(P3HT:PCBM)との界面で酸化されたAlのシグナルが増加した。
- Al電極は内側から酸化されている。



## Al電極の酸化状態 - 劣化セルの比較

酸化Alシグナルの深さ方向プロファイル



● すべてのセルで、Al/有機層界面でAlの酸化が進んでいる。

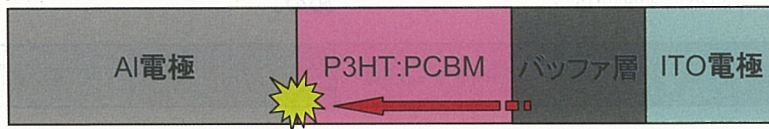
● 酸化の度合い:

バッファ層なし < MoOx << PEDOT:PSS

➢  $J_{SC}$  低下の度合いと相関あり。



➢ PEDOT:PSSは内側からのAlの酸化を促進している。



独立行政法人 産業技術総合研究所

## まとめ

### [光電流分布ムラの改善と高効率化]

- CF:o-DCB混合溶媒・キャスト法を用いることで、光電流のムラが少なく、かつ変換効率の高いセルの作製に成功した。

### [セル劣化機構の解明]

- Al電極が内側(有機層との界面)から酸化されることでセル特性が低下する。
- ITO側バッファ層がAl電極の酸化に影響する。
  - 特にPEDOT:PSSでは、劣化が早い。高耐久性の実現のためにはPEDOT:PSSにかわるバッファ層の開発が重要である。

本研究は、経済産業省のもと、独立行政法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)から委託され実施したもので、関係各位に感謝いたします。

独立行政法人 産業技術総合研究所

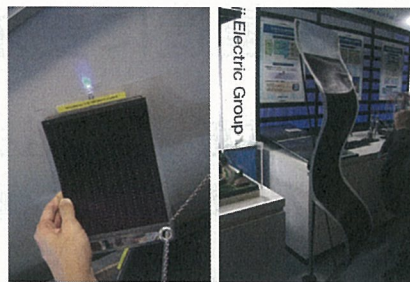
# 軽い！曲がる！高性能フレキシブル CIGS太陽電池の開発

Development of lightweight, bendable,  
and highly efficient CIGS solar cells

産総研 太陽光発電研究センター 化合物薄膜チーム 研究員 石塚尚吾

## フレキシブル太陽電池のメリット

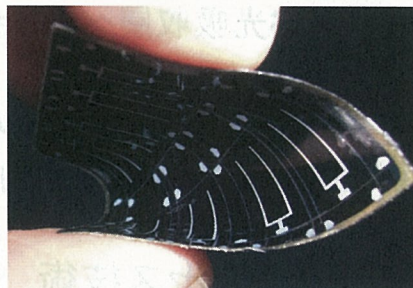
- ・軽い
- ・曲面への設置が可能
- ・意匠性に優れる
- ・用途の拡大、普及促進



a-Si系太陽電池



有機薄膜太陽電池



CIGS太陽電池

## CIGS太陽電池とは

### 特長

- 変換効率が高い(薄膜系で最高の変換効率)
- 数 $\mu\text{m}$ 以下の薄膜でも光を十分吸収できる
- 黒一色の落ち着いた色彩(建材との調和性優)
- 経年劣化がなく長期信頼性に優れる



### CISのエネルギーペイバックタイム(EPT)

生産規模	多結晶シリコン	CIS	短縮率
10M	2.6年	1.2年	54%
30M	2.2年	1.1年	50%
100M	1.5年	0.9年	40%

製造時に投入されるエネルギー量が、太陽光により発電されるエネルギーにより回収されるまでの期間を示す「EPT」を、従来の結晶シリコン系に比べておよそ半分に短縮。

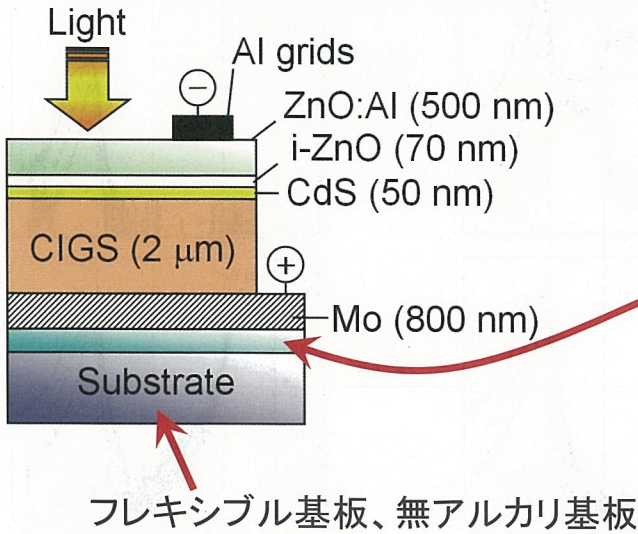
出典:NEDO

## 高性能なフレキシブルCIGS太陽電池 製造に要求される課題

- ① 適切な基板材料の選択
  - ・熱膨張係数の整合性、耐熱性、耐水性、平滑性、加工性
- ② 信頼性の高いアルカリ添加技術
  - ・CIGS光吸収層へのNa添加制御技術の開発
- ③ ガラス基板とは異なるハンドリング技術
  - ・フレキシブル基板に対応した工程の開発
- ④ 集積化プロセス技術、ラミネーション技術、等々...

# 信頼性の高いNa添加技術

## 裏面電極下部にケイ酸塩ガラス層(ASTL)



CIGS: 三段階法

ASTL層:

Alkali silicate glass thin layer: 安価なスパッタ堆積ソーダライムガラス薄膜(SLGTF)の利用が可能。

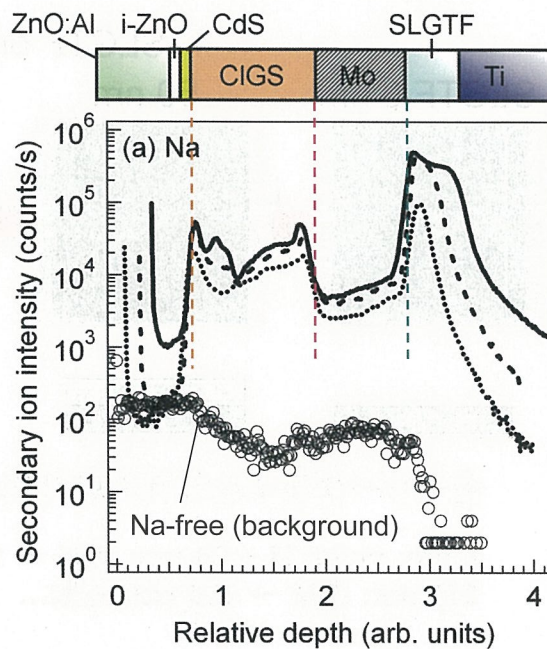
ソーダライムガラス:  
 $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{CaO} \cdot 5\text{SiO}_2$  が主成分。 $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MgO}$  などの不純物も含有。

# ASTL (SLGTF) 膜厚でNa取り込み量の制御が可能

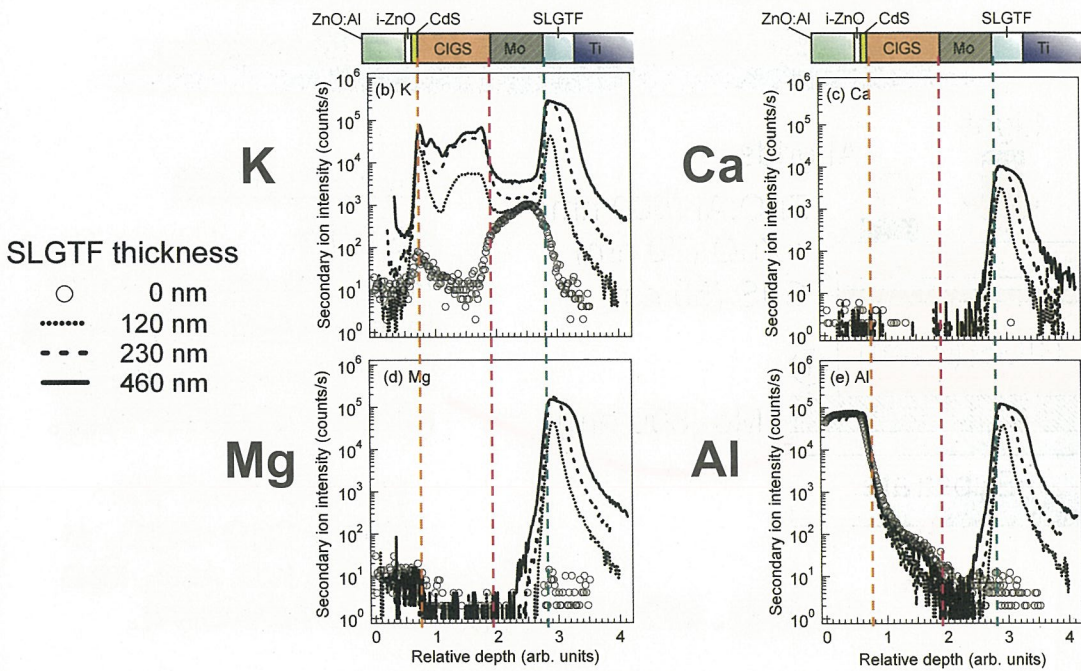
CIGS太陽電池構造における深さ方向のNa分布

SLGTF thickness

- 0 nm
- ⋯ 120 nm
- - - 230 nm
- 460 nm

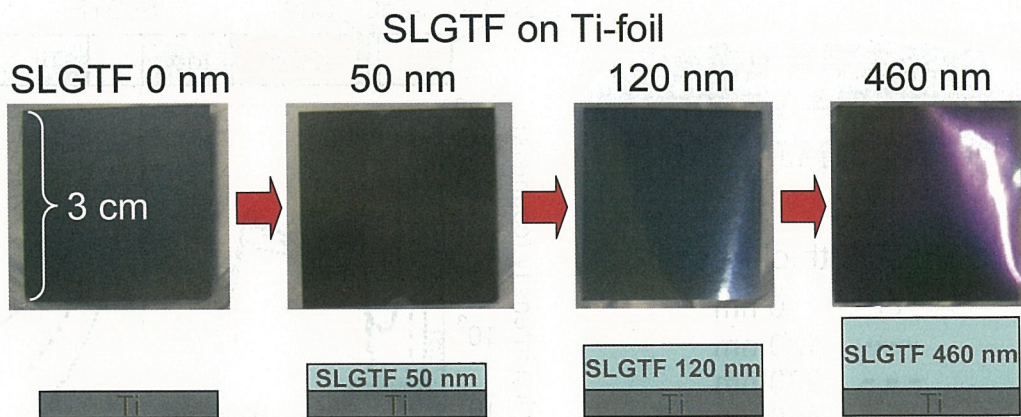


# SLGTFに由来する不純物の拡散



独立行政法人 産業技術総合研究所

# チタン箔基板のカラーバリエーション

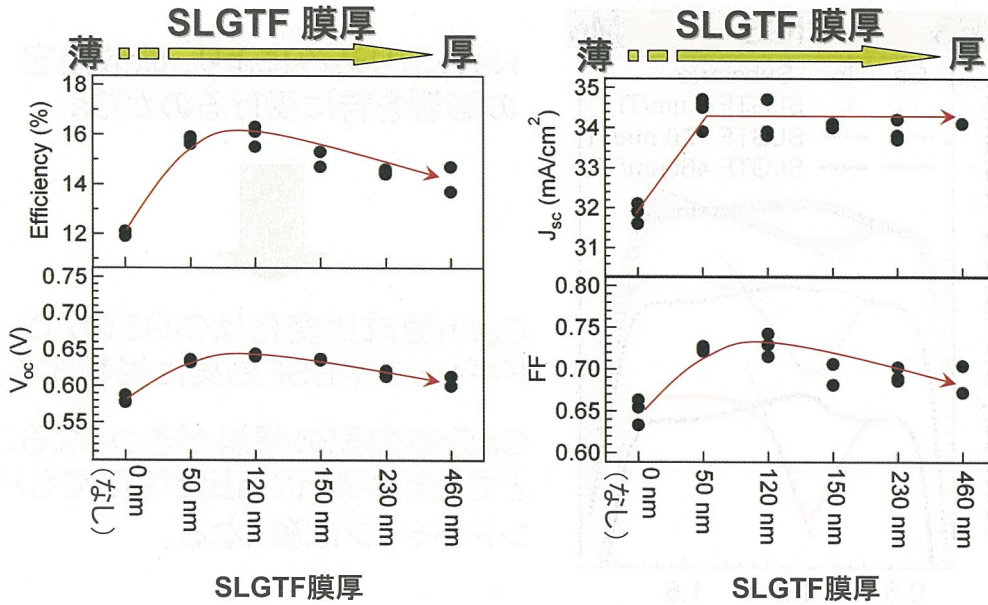


色でソーダライムガラス層のおよその膜厚が確認できる。

0 nm: metal Ti → 50 nm: 薄茶 → 100 nm: 薄紫 → 120 nm: 青 → 230 nm: 赤黄 → 460 nm: 緑紫...

独立行政法人 産業技術総合研究所

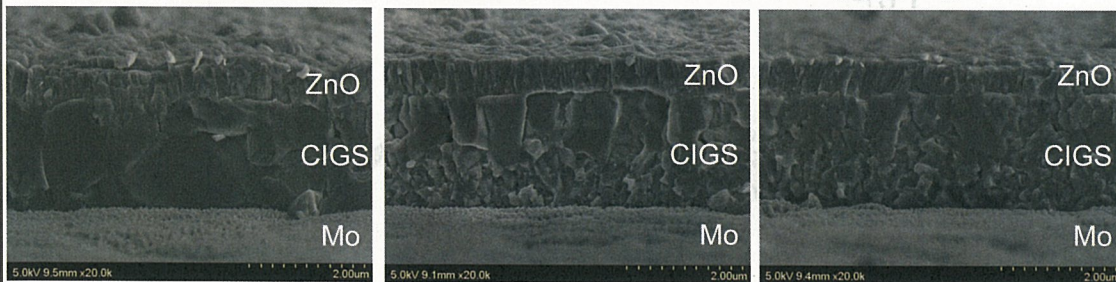
# ASTL (SLGTF) 膜厚と太陽電池特性変化



※基板は20μmのチタン箔、反射防止膜なし。

# Na濃度とCIGS結晶粒径の関係

薄 ← SLGTF厚 (Na濃度) 増 → 厚



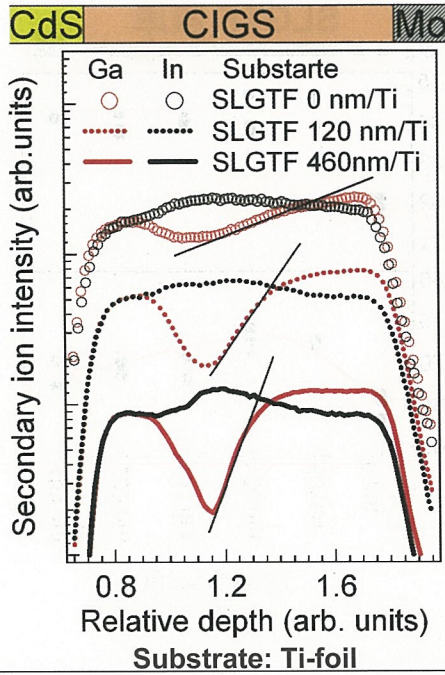
Without SLGTF / Ti      SLGTF 120 nm / Ti      SLGTF 230 nm / Ti

Naの存在がCIGS製膜中のCu, In, Ga 相互拡散を阻害  
⇒ 小粒径化

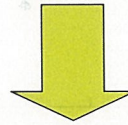
同様の小粒径化傾向は CIGS/NaF/Mo構造でも観察されている。\*

\*D. Rudmann, et al., J. Appl. Phys. **97**, 084903 (2005).

## Na濃度とGa分布勾配



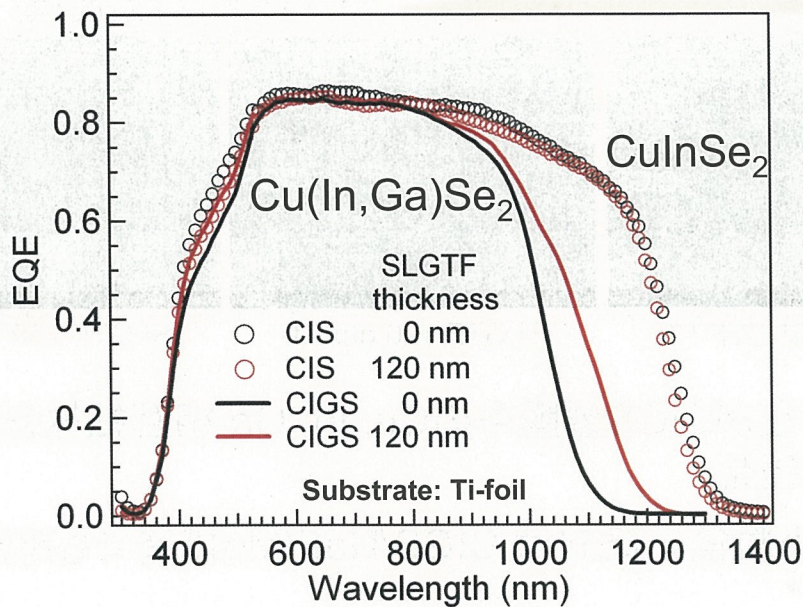
Naの取り込みにより、拡散障害の影響を特に受けるのがGa。



Ga/In組成比変化はCIGSのバンドギャップやBSF効果に影響する。

Ga分布勾配の傾斜がきつくなることで、全体のIn/Ga比が同じでもバンドギャップは狭くなる。

## 外部量子効率





# 高効率フレキシブル太陽電池の実現



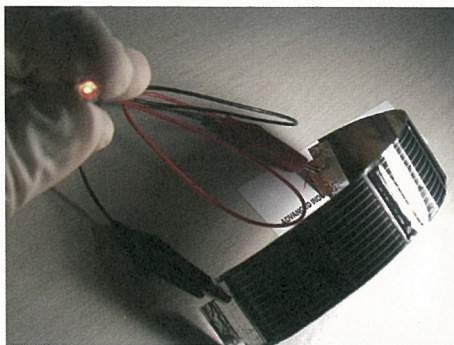
(a) セラミックス基板  
 効率 17.7%  
 (製膜温度550°C)

(b) チタン箔基板  
 効率 17.4%  
 (製膜温度550°C)

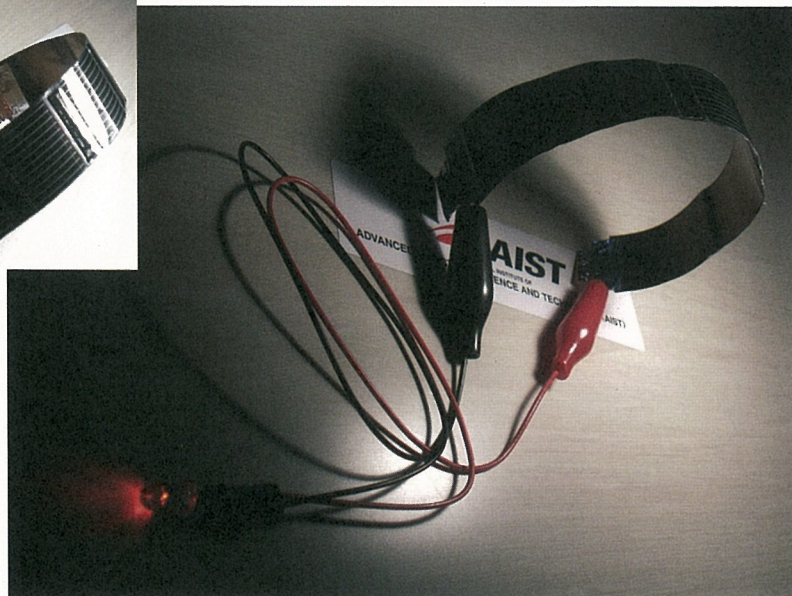
(c) ポリマー基板  
 効率 14.7%  
 (製膜温度400°C)

(c)のポリマー基板はガラス基板にスピコート形成したポリイミドで、従来のガラス基板モジュールの製造ラインと多くの工程で共通化が可能(ロール・トゥ・ロール方式製造装置など、フレキシブル太陽電池専用の新たな設備を必要としない)。

# Flexible Modules for Practical Applications



Flexible CIGS  
 modules  
 (Substrate: Ti-foil)



## まとめ

- ◎ CIGS光吸収層のアルカリ添加制御は、Mo裏面電極層の下に製膜したケイ酸塩ガラス層(ASTL)の膜厚によって、高い精度での制御が可能である。
- ◎ アルカリの過剰拡散はセルの性能低下を招く。この原因としては、小粒径化に伴う粒界欠陥の影響よりも、バルク内部における結晶欠陥増加の影響が大きいと考えられる。
- ◎ 基板やCIGS製膜条件に応じたASTL膜厚の最適化により、様々な基板上に高性能なCIGS太陽電池の作製を実現した。
- ◎ 今後の課題として、実用サイズのフレキシブルCIGS太陽電池モジュール作製を目指した集積化や、スケールアップに伴う各工程の諸問題解決が挙げられる。

**More information:**

- S. Ishizuka, et al., *Appl. Phys. Lett.* **93** (2008) 124105, SLGTF膜厚と太陽電池特性変化など。  
S. Ishizuka, et al., *Appl. Phys. Express* **1** (2008) 092303, ポリイミド基板を用いたCIGS太陽電池。  
S. Ishizuka, et al., *JRSE* **1** (2009) 013102, 不純物拡散、太陽電池特性の基板種類依存性など。

09/06/23 第5回「産業技術総合研究所 太陽光研究センター 成果報告会」

# CIGS集積型サブモジュールの 高効率化技術開発

Development of high-efficiency CIGS integrated submodules

化合物薄膜チーム

小牧弘典

Hironori Komaki

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 背景

### 主な市販太陽電池モジュール

mc-Si*	14.4 %	} 結晶系
HIT**	17.0 %	
a-Si	~ 10 %	} 薄膜系
CdTe	~ 10 %	
CIGS	11~12 %	

→ セレン化法  
(昭和シェル・ホンダ)

差

### CIGS小面積セル\*\*\* (研究室レベル)

19.9 %: ガラス基板  
17.7 %: セラミクス基板  
三段階法(多元蒸着法)  
により達成

**CIGSモジュール高効率化技術開発が必要**

三段階法を大面積製膜に応用  
構成層特性・集積化プロセスの改善

\*<http://www.sharp.co.jp/corporate/news/080604-a.html>

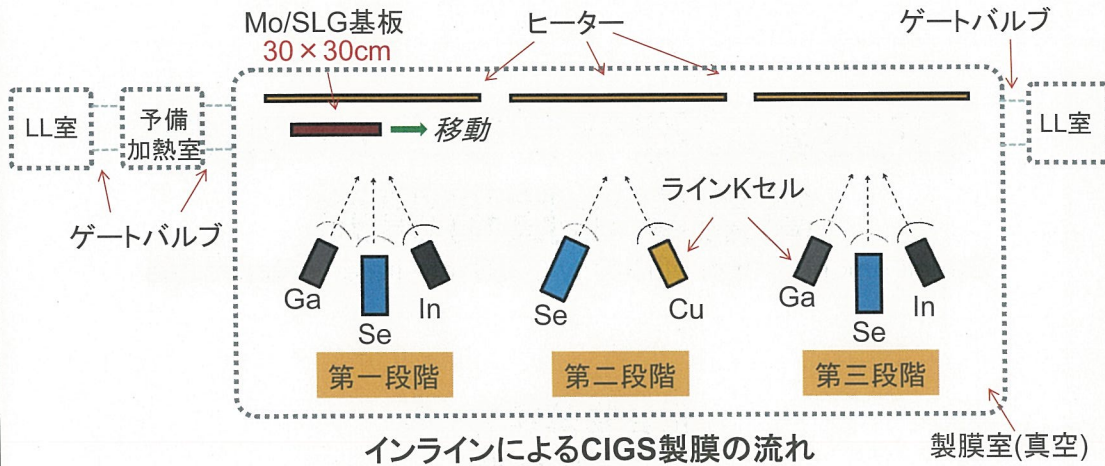
\*\*\*M. A. Contreras et. al., ID221, ICTMC-16, Berlin

\*\*<http://www.sanyo.co.jp/clean/solar/system/module/index.html>

S. Ishizuka (2008)

独立行政法人 産業技術総合研究所

# インライン三段階法



前回センター報告会(2008)

10cm角SLG基板上に集積型サブモジュールを作製

変換効率14.2%達成⇒三段階法が大面積にも適用可能

Aperture area 76.5 cm<sup>2</sup>

※化合物薄膜チームにて測定

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 目的&課題

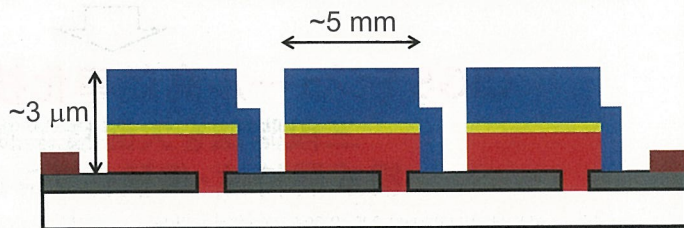
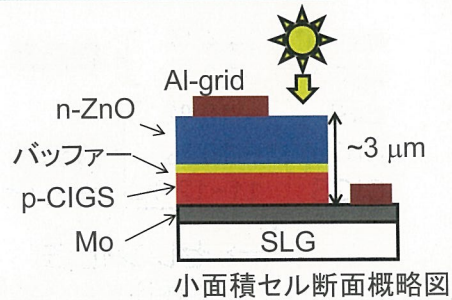
各プロセスの最適化により高性能化を図る

・CIGS膜組成の最適化・均一性向上

・バッファ層CdSの最適化

・集積(パターニング)の最適化

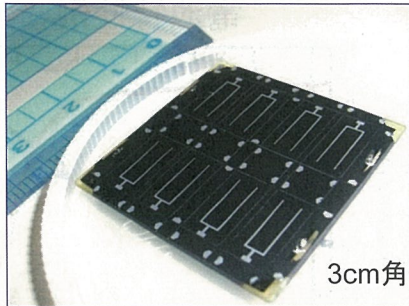
・ZnO窓層の最適化



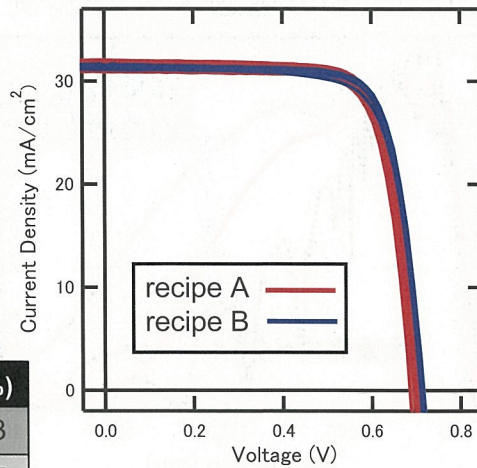
# バッファー層CdSの最適化例

形成方法: 化学溶液堆積法

小面積セルの外観



小面積・8セルのJ-Vカーブ

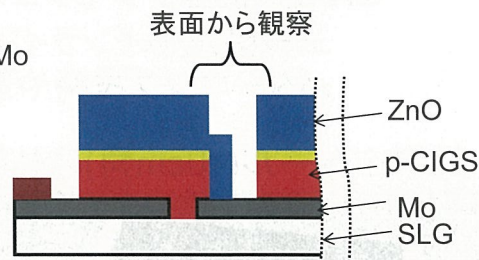
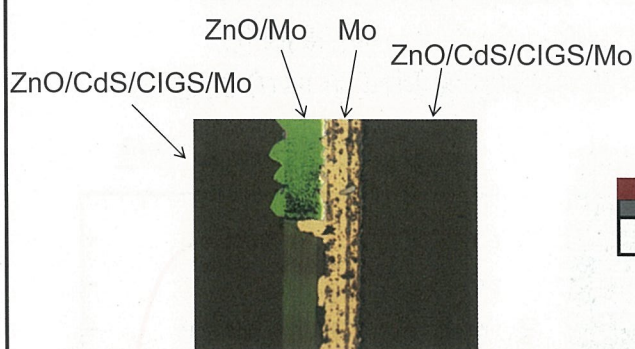


セル特性の平均値

recipe	Voc(V)	Jsc(mA/cm <sup>2</sup> )	FF	Eff.(%)
A	0.70	31.44	0.76	16.83
B	0.71	31.37	0.78	17.37

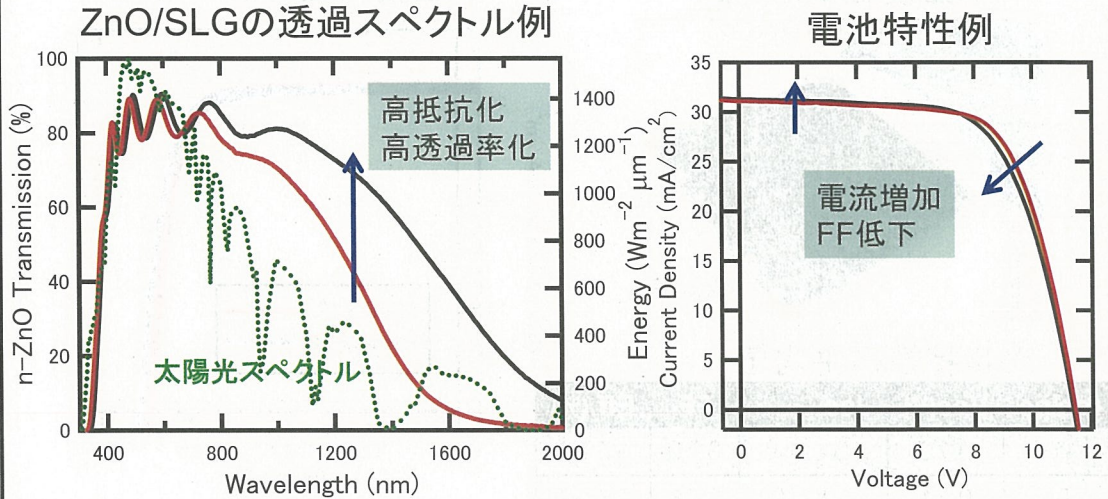
recipe Bの方が電流電圧特性が高く、均一性も良い。

# パターニング最適化例: メカニカルスクライブ



サブモジュール作製後のスクライブ部写真

## 窓層(ZnO)の特性がモジュール特性に与える影響

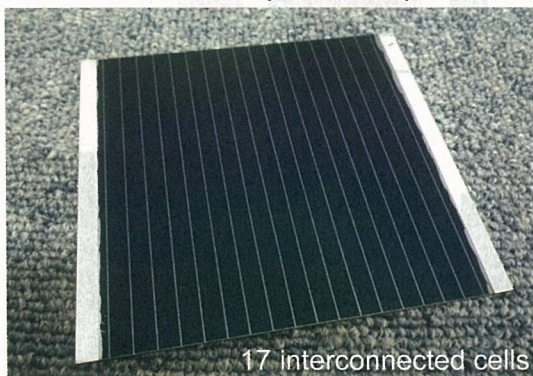


独立行政法人 産業技術総合研究所

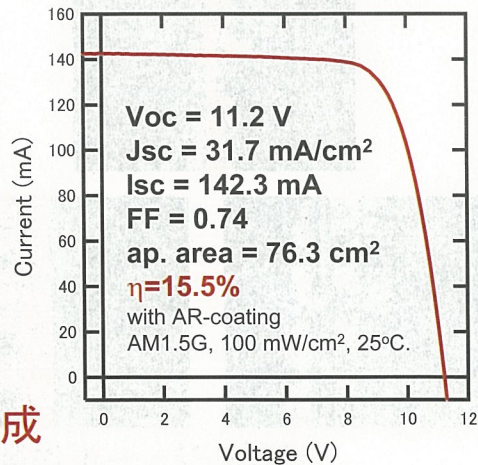
## まとめ & サブモジュール変換効率

CIGS集積型サブモジュールの高効率化技術開発  
 三段階法のインライン化・バッファ層最適化  
 パターニング技術や透明導電膜製膜条件の最適化

サブモジュール(10cm角)の外観



サブモジュール特性



**インライン三段階法で15.5%達成**  
 (化合物薄膜チームにて測定)

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 産総研における基準太陽電池デバイス 校正の技術進捗

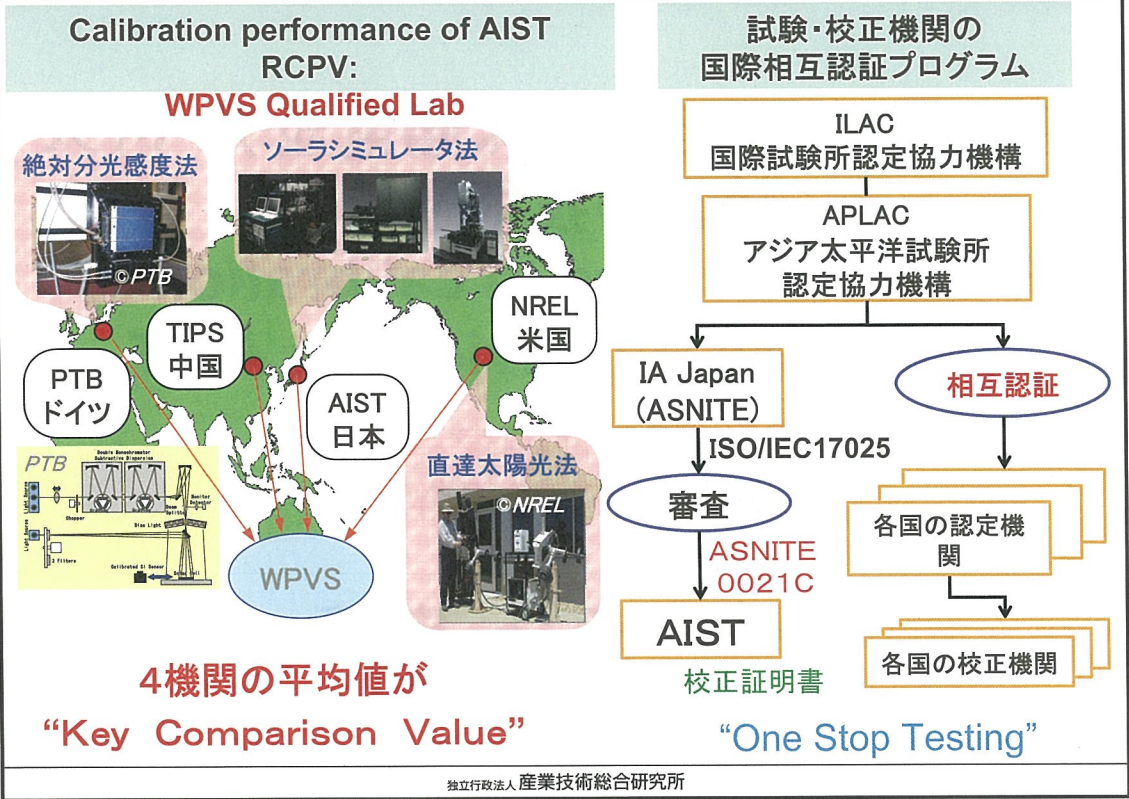
## Recent Advance in calibration of reference PV devices at AIST

品質保証・性能表示値の  
信頼性を支える根幹技術

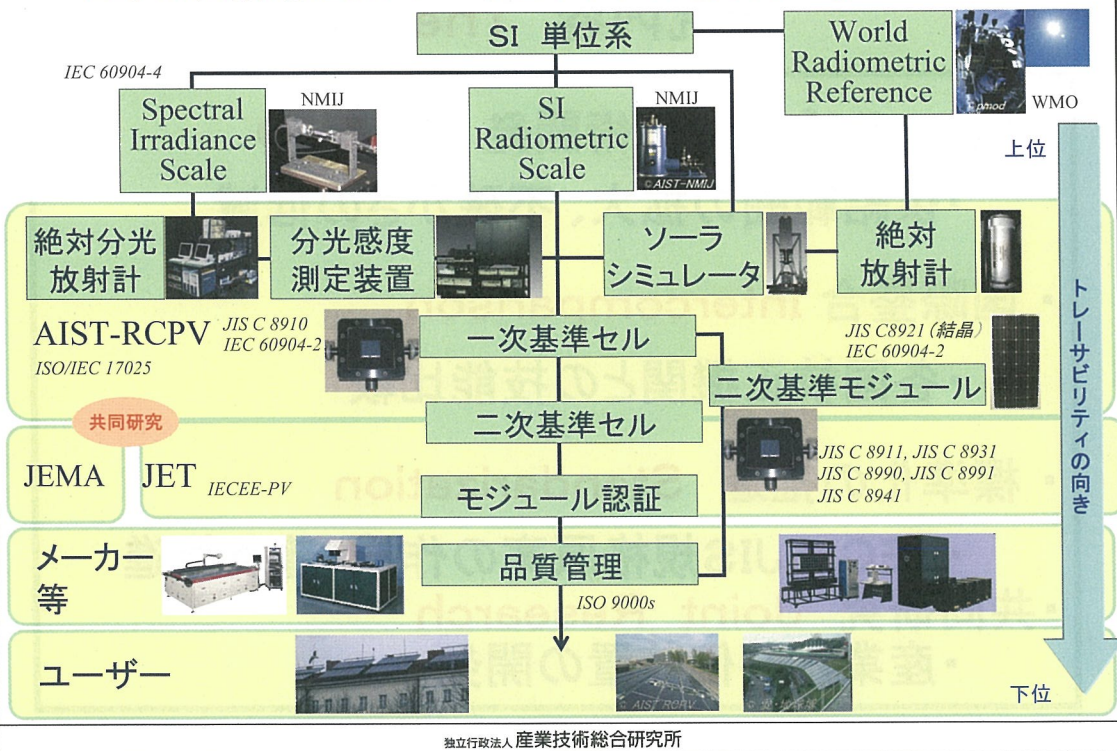
評価システムチーム: 猪狩真一  
Sanekazu IGARI

## 研究内容 Theme

- ・ トレーサビリティ技術開発 **R & D**
  - ・ 供給範囲の拡大、不確かさの低減
- ・ 国際整合 **Intercomparison**
  - ・ 各国校正機関との技能比較
- ・ 標準化の推進 **Standardization**
  - ・ IEC / JIS規格原案の作成・普及促進
- ・ 共同研究 **Joint Research**
  - ・ 産業用評価装置の開発

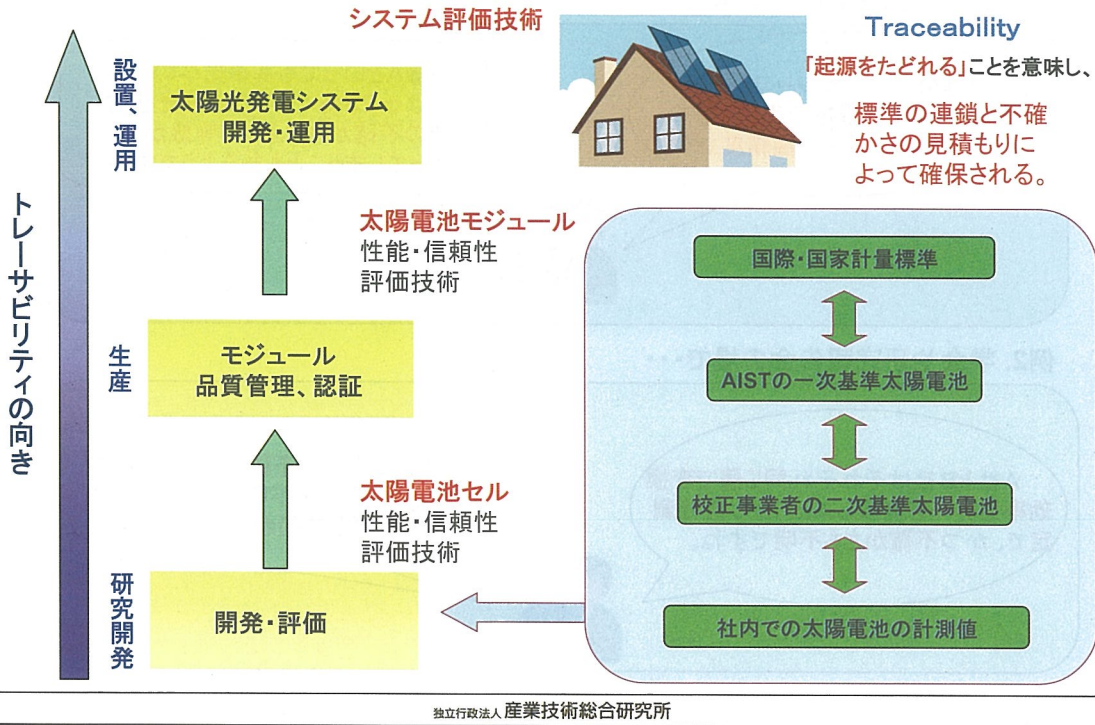


### 日本の太陽電池のトレーサビリティ **Traceability in JAPAN**

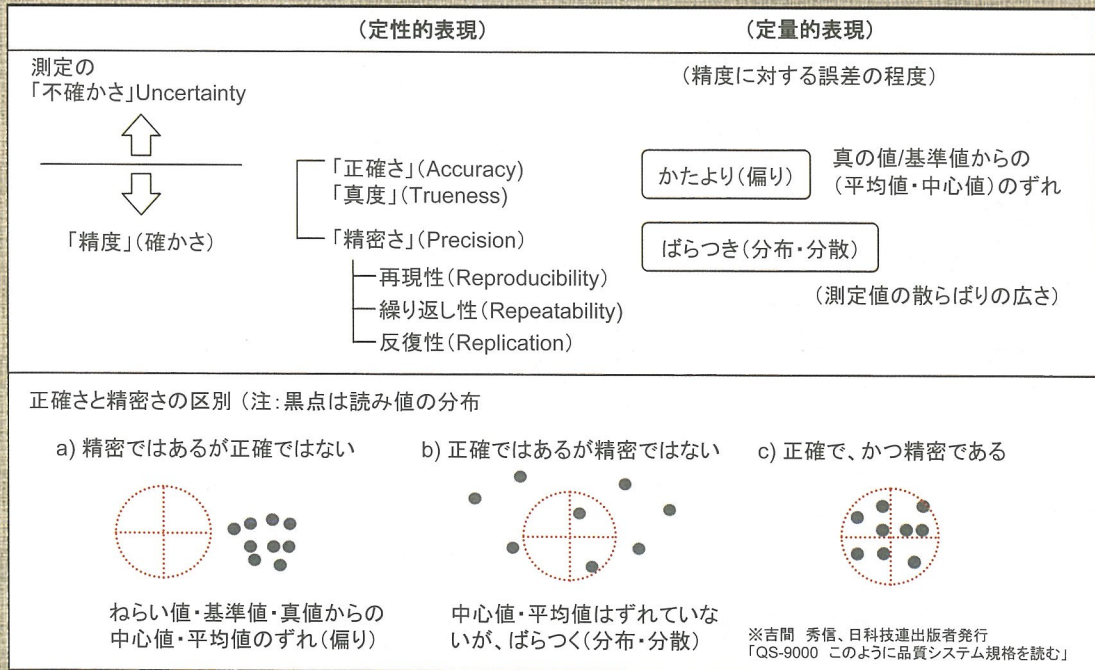




# 太陽電池の計測のトレーサビリティと評価方法の役割



## 不確かさとは... ターゲットとする「測定の精度」の确实さに疑いを与える要素を具体的に(統計的手法を使って)表現したもの



## どのような場面で不確かさ確かさが問われるか

### 例1. 評価装置の性能保証...

弊社のパルス型ソーラシミュレータはJIS規格の等級Aですから太陽光近似で高精度です。

等級Aといっても基準光への合致度は±25%ですよ。分光放射計の不確かさによって等級が変わってしまうこともあるようですが。

### 例2. 学会や研究報告会の場で...

A社とB社はそれぞれ同じ値で変換効率世界一を発表しましたが、自社測定で、かつ不確かさも不明ですね。

2社の測定の不確かさは異なるでしょう。それが不明では、どちらがより有望な技術か判定できません。

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 不確かさの伝播則

・モデル式が単純な場合(線形の場合)

不確かさの伝播則で合成される。すなわち、

$$u_c = \sqrt{\sum_{i=1}^n u_i^2} = \sqrt{u_1^2 + u_2^2 + \dots + u_n^2}$$

が成り立つ

しかし

近似された合成不確かさ (近似が妥当でない)

- ・非対称な不確かさを持つ場合
- ・モデル式が複雑な場合
- ・大きな不確かさをもつ場合

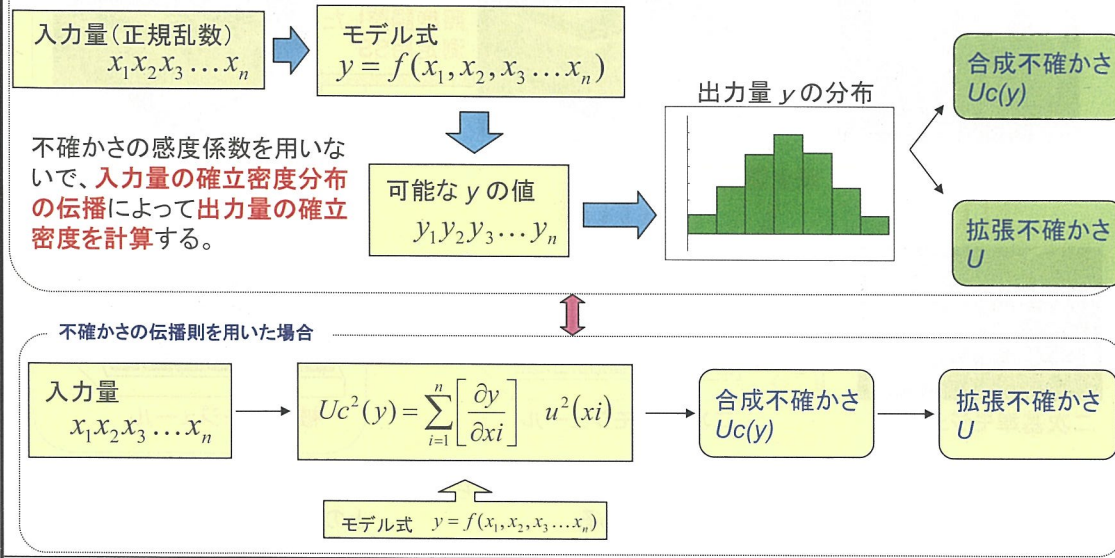
**「不確かさの伝播則」が使えない**

確率論的要素を取り入れた考えが必要

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 不確かさの伝播則を用いない合成法が必要な場合

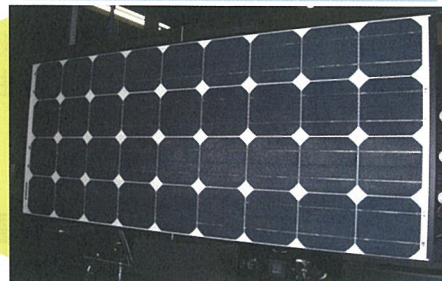
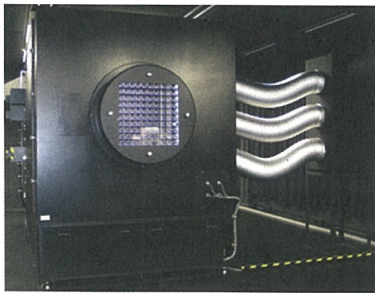
## モンテカルロシミュレーション



独立行政法人 産業技術総合研究所

## 二次基準モジュール用ソーラシミュレータ

## JIS C 8921 二次基準モジュール



## 二次基準モジュール温度制御装置



面内温度制御:  $25 \pm 0.5^\circ\text{C}$   
(JIS/IEC規格:  $25^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ )

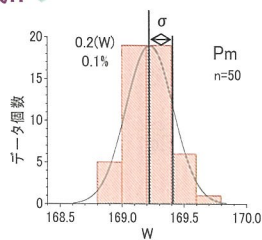
### IEC60904-2の要求性能は

- IEC60904-9 Class A+照度むら  $\pm 1\%$ 以下

産総研では $\pm 0.7\%$ 達成!!

- $1.1\text{m} \times 1.9\text{m}$ で $\pm 0.7\%$
- パルス幅: 最長 1秒,

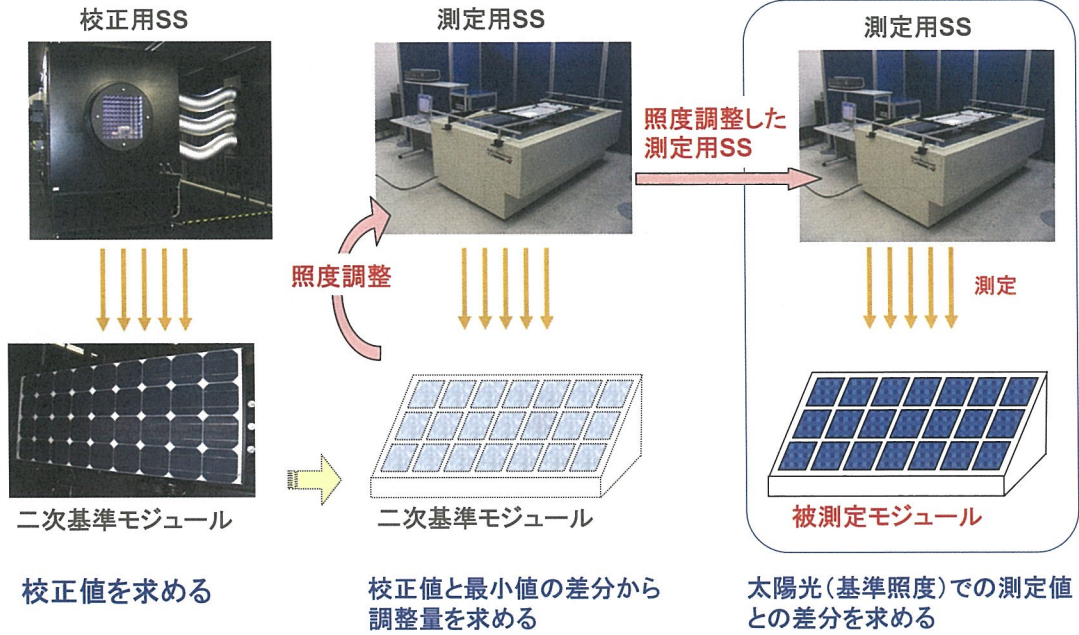
新型モジュールにも適合



独立行政法人 産業技術総合研究所

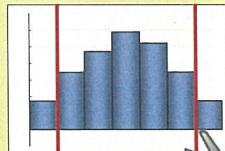
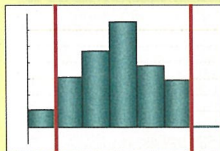
二次基準モジュールの構成セル特性にばらつきがある場合

校正用SSの照度の場所むらなくセル特性のバラつき



### モンテカルロシミュレーションの方法(原理)

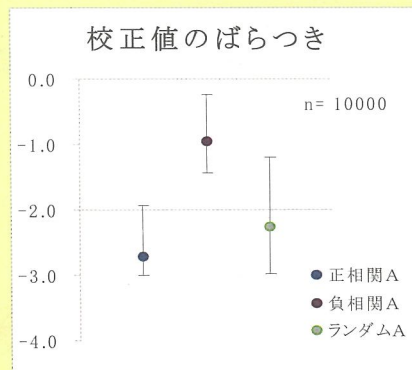
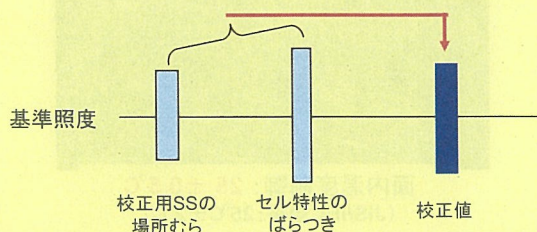
(1) 校正用ソーラシミュレータ(SS)の照度分布(場所むら), 二次基準モジュールのセル分布(セル特性)のサンプル発生



規定の正規乱数発生(構成セル数分), 両側カット, ばらつきが制限内に入ったものをサンプルモジュールとする。(サンプル数が少ないのでこの操作が必要)

(2) 校正値を求める

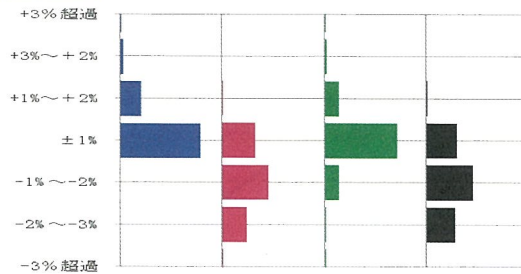
照度分布とセル特性の和を求め, その**最小値が校正値**. 照度分布及びセル特性を並び替え, その組み合わせで正相関, 負相関の場合が求まる.



### (3) 測定用ソーラシミュレータの照度調整量を求める

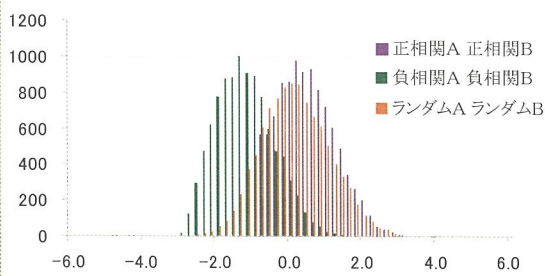
(1)と同様に測定用SSの照度分布, 二次基準モジュールのセル分布のサンプルを求める. 両者の和を求め, その**最小値**と**校正值**の差から調整量を求める.

正相関A 負相関A ランダムA 平均照度が  
正相関B 負相関B ランダムB 基準照度の場合



### (4) 被測定モジュールの測定値を求める

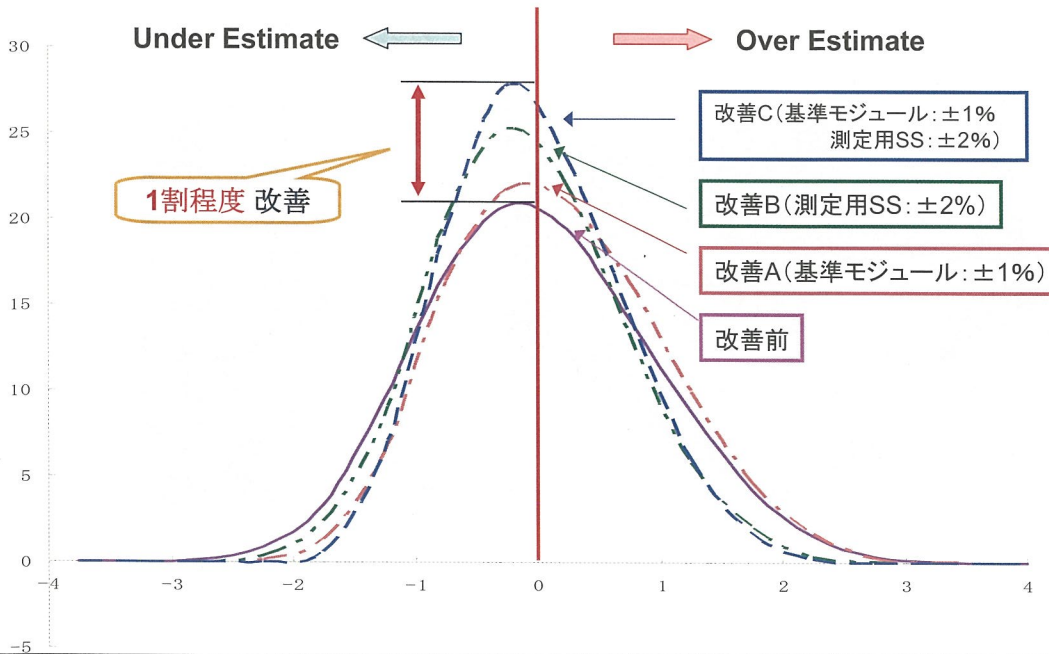
測定値のばらつき(自然光との差分)



1)と同様に測定用SSの照度分布(3)の調整結果に従ったもの, 二次基準モジュールのセル分布を与える. 両者の和を求め, その**最小値**が**測定値**である. 太陽光での測定値との差を求める

### モンテカルロシミュレーションの結果の例

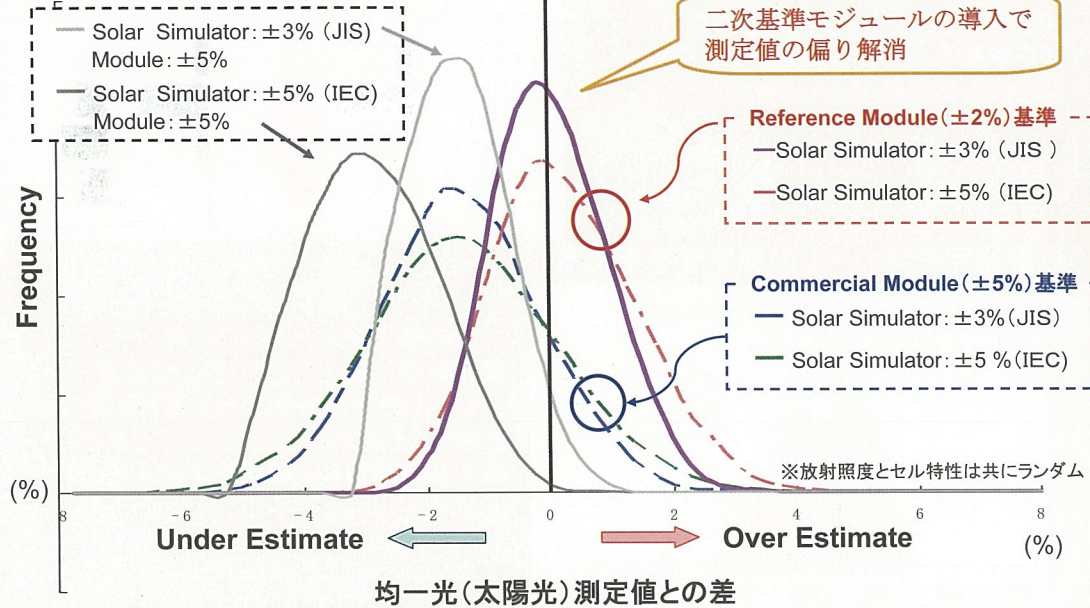
ランダムA・ランダムB を基準にした改善例



## 校正技術高度化: 二次基準モジュール法の導入効果

Commercial Module基準のリスクとReference Module Methodの効果

Reference Cell 基準、Average Irradiance



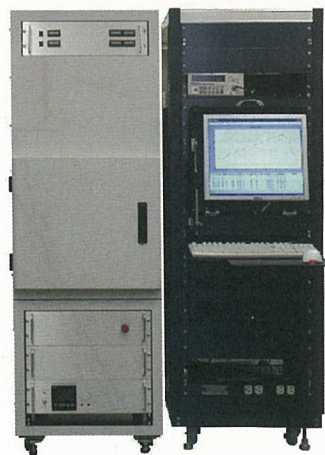
独立行政法人 産業技術総合研究所

## 共同研究等の成果: 評価装置実施例

ライン用ソーラシミュレータ(山下電装)



分光感度測定装置(相馬光学)



MIDI-S9230

Somma

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 高速型高精度分光放射計「採虹」

High-Speed Spectroradiometer Model HSSR-1500

販売: ORC オプトリサーチ



## 特長

- ・広い波長範囲(250-1500nm)
- ・高速応答(1msec)
- ・高精度(再現性1%以下)
- ・高分解能(2.5nm)
- ・高対光直線性(1%)
- ・携帯型(トランクタイプ)
- ・高剛性!

「採虹」は、ソーラシミュレータの他、LEDやカメラのフラッシュ等、あらゆる閃光の分光放射照度の測定が可能です。定常光型ソーラシミュレータや自然太陽光、その他各種ランプについても、従来のモノクロメータ方式よりも高精度・高分解能な測定を高速にできます。携帯型であるため装置の操作、標準電球による校正が簡便です。

## 共同特許出願者

独立行政法人 産業技術総合研究所、株式会社オプトリサーチ、日清紡績株式会社、山下電装株式会社、オーケーラボ有限会社

独立行政法人 産業技術総合研究所

## むすび

1. 太陽電池標準の国際協力(WPVS, IECなど) 継続的な維持管理に努める。
2. 世界の太陽光発電をリードするに相応しい、国際競争力のあるトレーサビリティ体系の構築・維持・発展を図る。
3. 根幹標準(CIE標準電球, SI単位, WRR)の一元化をリードする。
4. 基準太陽電池の強固な供給体制を確立し、不確かさを低減する技術開発を促進する。
5. 技能試験等を主催し、参加者技術レベルの向上を目指す。

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 産総研メガ・ソーラタウンー不具合の実例とその探査法ー

AIST Mega SolarTown - Troubles during 5-year Operation and Diagnostic Technique-

評価・システムチーム 加藤和彦  
(Kazuhiko Kato)

Total nominal power output

Array: 877kW<sub>DC</sub>

System: 855kW<sub>AC</sub>

Number of units: 211  
(residential PV systems)

PV module manufacturer:

Sharp (mc-Si, pc-Si)

Kyocera (pc-Si)

MSK (mc-Si)

Mitsubishi (pc-Si)

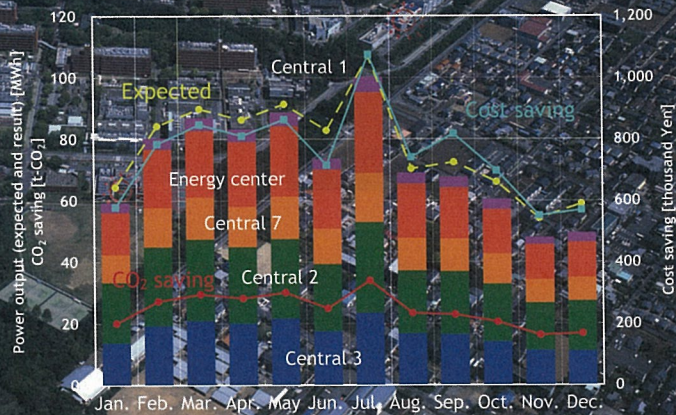
Shell Solar Japan (pc-Si)

Sanyo (HIT)

MHI (a-Si)

Operation start: April, 2004

2008 Record: 867MWh (7% less than expected)



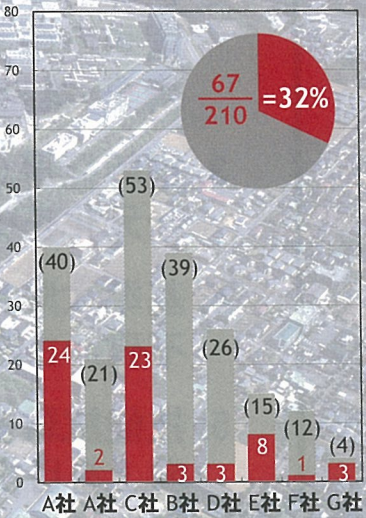
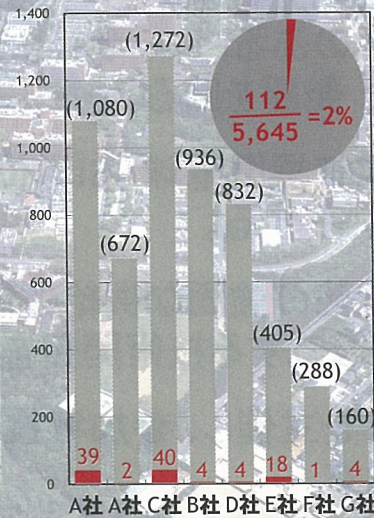
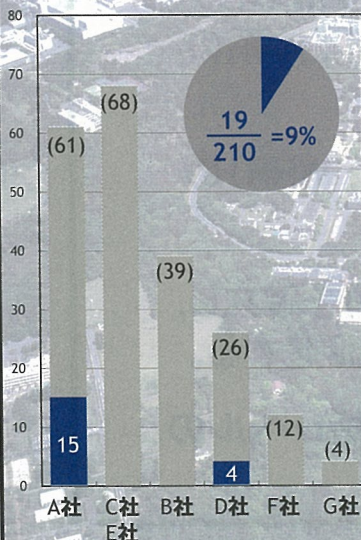
## モジュール・パワーコンディショナの交換履歴(メーカー点検による)

パワーコンディショナ

モジュール

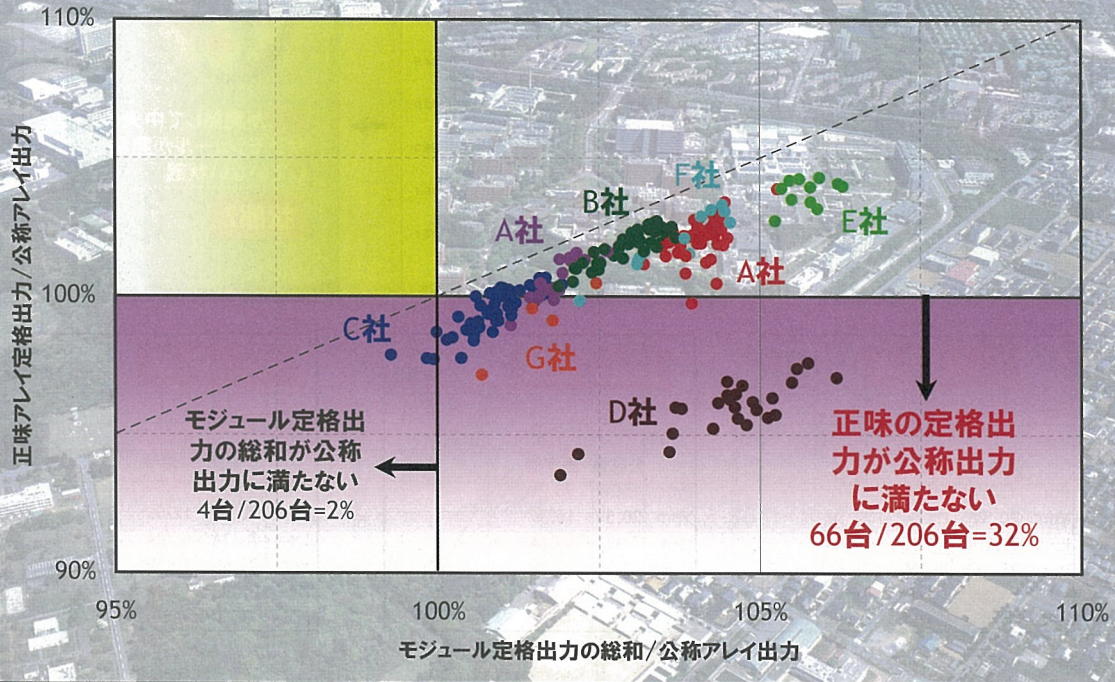
モジュール枚数基準  
(製造者の視点?)

システム台数基準  
[1枚以上の交換があったシステム]  
(ユーザーの視点?)

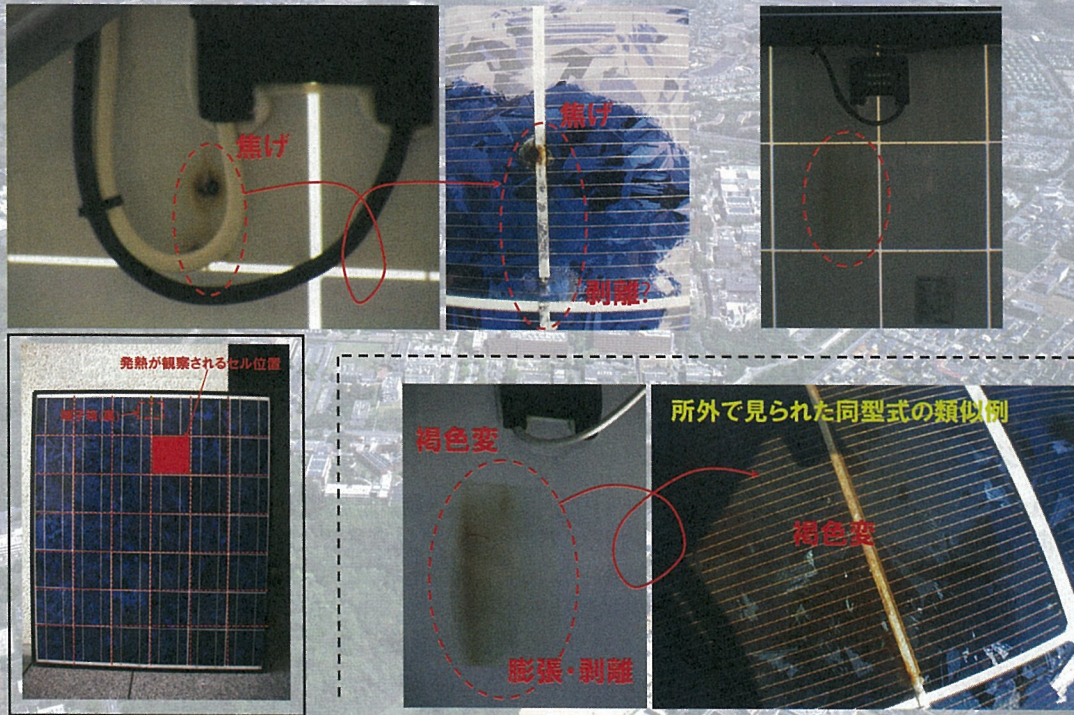




### モジュール定格特性のばらつきとアレイ配線構成が アレイ定格出力に及ぼす影響



### 現在進行中の不具合事例(1)-A社製多結晶Siモジュール(同型式)





現在進行中の不具合事例(2)-D社製多結晶Siモジュール

原因不明の表面ガラス割れ

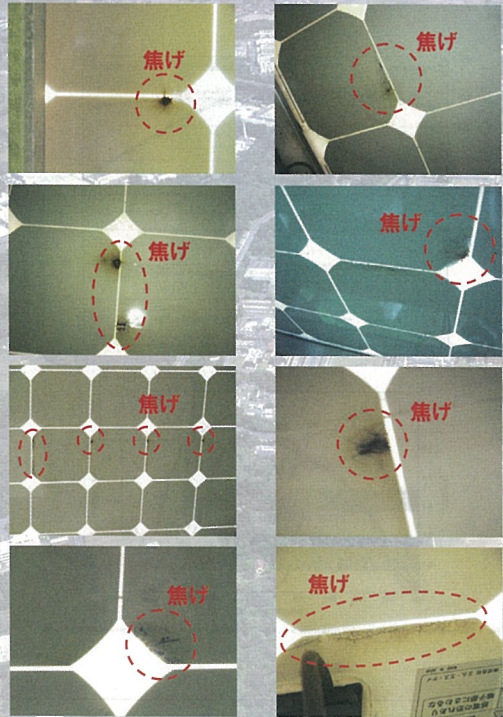
第7事業所の多結晶Siモジュール32枚からなる4kWシステム

JEM-TR228(小出力太陽光発電システムの保守点検ガイドライン)にのっとり施工業者による保守点検(FY2007実施)では、

**「異常なし」**

(経過観察中)

現在進行中の不具合事例(3)-C社製単結晶Siモジュール



JETの「太陽電池モジュール認証」は、本当に性能・品質を確保しているか?・・・大丈夫か?

JET認証シール

# 太陽電池屋外測定試験の国際比較

Intercomparisons of outdoor performance measurements of PV modules

評価・システムチーム  
高島 工  
Takumi TAKASHIMA

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 目的

- ・ 高温気候(タイ)と高温・高温度差気候(インド), および温帯湿潤気候(日本)で複数種類の太陽電池の屋外曝露比較試験を行い, 太陽電池の長期信頼性(性能変化, 劣化)を評価することで, 高信頼性太陽電池開発に必要な技術要件を抽出する.
- ・ 現地で精密気象観測を行い, 現地境に適した太陽電池デバイスの開発指針を検討すると共に, 太陽電池発電量評価に必要な気象パターンの整理を行う.



高温・高温度差地域の環境に適し信頼性のより高い太陽電池の製作に有益な知見が得られ, 日本および当該国の太陽電池産業の発展に寄与する.

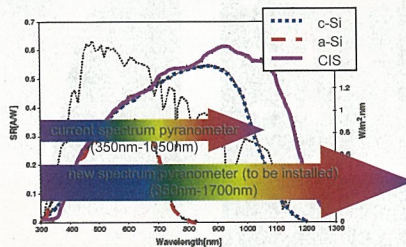
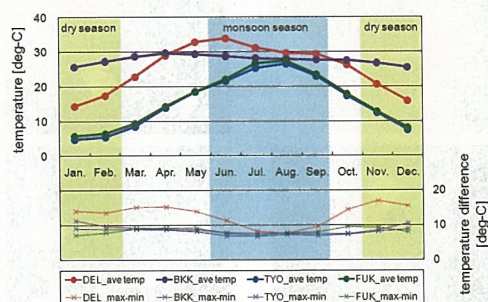


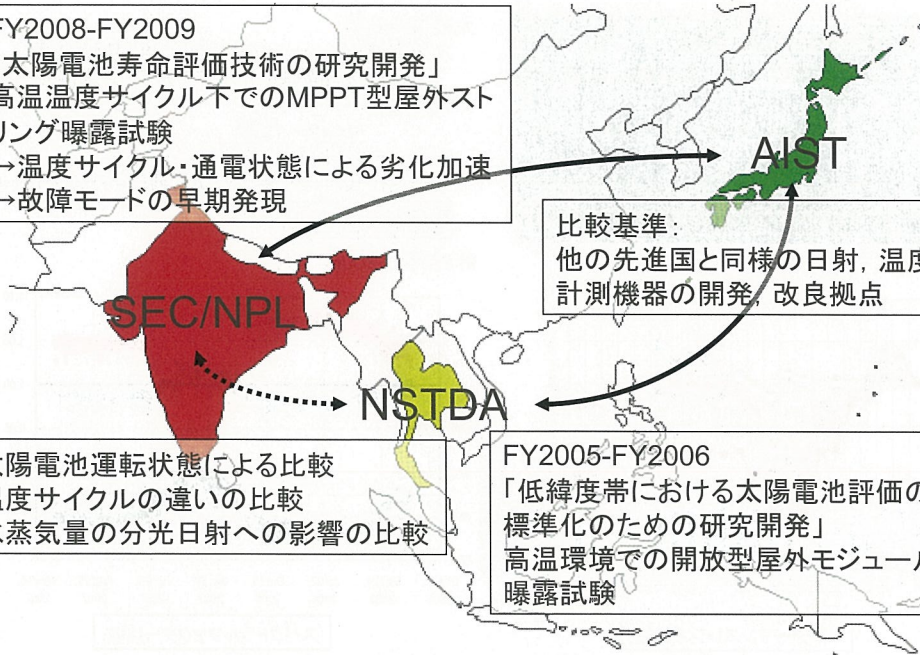
Fig. 3. Spectral responses of the three module types tested (c-Si, a-Si, CIS). Also indicated is the AM1.5G spectrum (up to 1300 nm).

独立行政法人 産業技術総合研究所

# インドタイー日本の比較測定

FY2008-FY2009

「太陽電池寿命評価技術の研究開発」  
 高温温度サイクル下でのMPPT型屋外スト  
 リング曝露試験  
 →温度サイクル・通電状態による劣化加速  
 →故障モードの早期発現



比較基準:  
 他の先進国と同様の日射, 温度環境  
 計測機器の開発, 改良拠点

太陽電池運転状態による比較  
 温度サイクルの違いの比較  
 水蒸気量の分光日射への影響の比較

FY2005-FY2006

「低緯度帯における太陽電池評価の  
 標準化のための研究開発」  
 高温環境での開放型屋外モジュール  
 曝露試験

# 産総研つくばセンターでの屋外曝露試験



**太陽電池計測:**

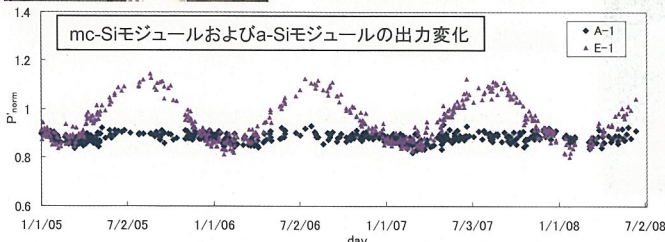
太陽電池モジュール最大16枚, 傾斜角30度, 真南。  
 単結晶Si(2社3枚), 多結晶Si(3社6枚), ヘテロ接合型(1社2枚), ア  
 モルファスSi(1社2枚), CIS(1社2枚)。 (ほとんどは産総研メガソーラ導入品)  
 モジュール温度1点/モジュール。  
 コンデンサ式IV計測装置+切替器(16チャンネル)によりモジュールIV計測  
 (30秒/チャンネル)。  
 待機時は開放状態。1スキャン8分。



**気象観測:**

水平面全天日射強度, 傾斜面全天日射強度(南, 東, 西),  
 水平面分光放射強度(350nm~1050nm), シリコンセンサー,  
 直達日射強度, 気温, 湿度, 風向, 風速。

計測開始: 2004年7月。  
 データロガーにてデータ収集。



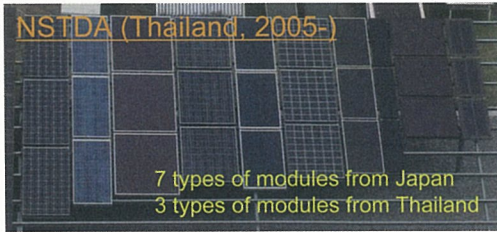
**特性変化(2005.01-2008.6):**

結晶シリコンモジュール  
 劣化兆候は見られず。  
 アモルファスシリコンモジュール  
 季節変化はあるものの劣化兆候  
 は見られず

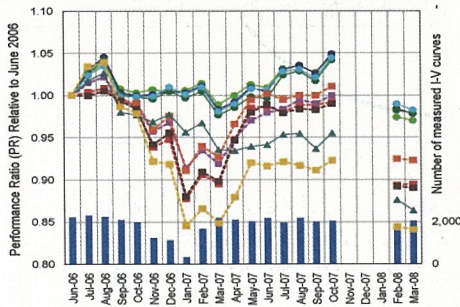
**不具合発生:**

メガソーラタウン(実運転状態)にみら  
 れるような不具合事例は特にな  
 し

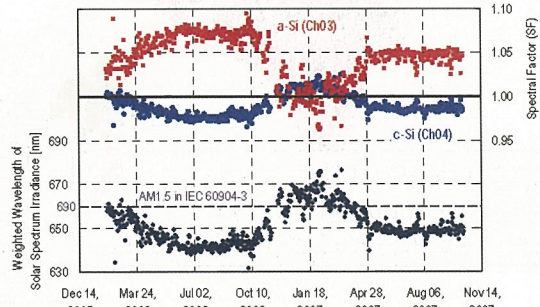
# タイNSTDAでの屋外曝露試験



太陽電池計測:  
太陽電池モジュール30枚, 傾斜角14度, 真南.  
多結晶Si(4社), アモルファスSi(4社), 多層型(2社),  
各3枚×10組.  
モジュール温度1点/モジュール.  
電子負荷式IV計測装置+切替器によりモジュールIV計測(20秒/チャンネル).  
待機時は開放状態.  
計測開始:2006年1月



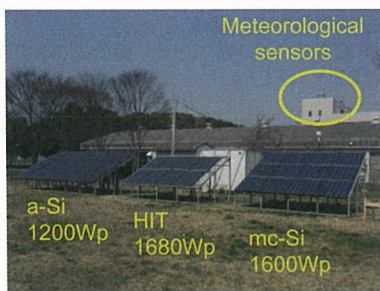
パフォーマンスレシオ比較



スペクトラルファクター比較

独立行政法人 産業技術総合研究所

# 産総研九州センターでの屋外曝露試験



太陽電池計測:  
太陽電池アレイ3種, 傾斜角26度, 真南.  
多結晶シリコン太陽電池  
ヘテロ接合型太陽電池  
アモルファスシリコン太陽電池

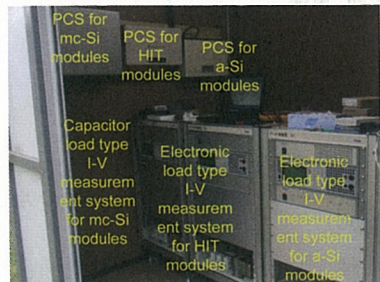
モジュール温度3点/モジュール.

電子負荷式IV計測装置(ヘテロ接合型太陽電池, アモルファスシリコン太陽電池)またはコンデンサ式IV計測装置(多結晶シリコン太陽電池)+切替器により,  
アレイごとにモジュールIV計測4枚または5枚+アレイ全体IV計測(20秒/チャンネル).

待機時は系統連系状態.

計測開始:2009年2月

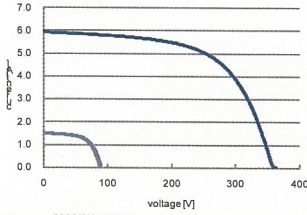
\* 同等の機器を2009年秋にインドSECに導入予定(外部負荷式MPPT制御運転). 日印データ比較予定.



独立行政法人 産業技術総合研究所

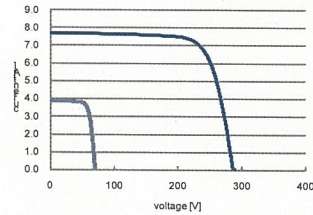
# 九州センターでの曝露試験データ例

アモルファスシリコン太陽電池特性  
(4モジュール, アレイ全体)



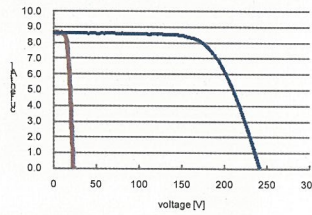
Date	2009/3/24 13:10					
Ch. No.	c1m1	c1m2	c1m3	c1m4	c1a	
Voc [V]	89.1	91.5	87.6	92.3	359.3	
Isc [A]	1.489	1.498	1.511	1.507	5.943	
Pmax [W]	83	84	83	83	1321	
Vpmax [V]	65.91	67.39	64.7	67.56	266.2	
Ipmax [A]	1.233	1.21	1.255	1.204	4.814	
F.F.	0.6	0.59	0.61	0.58	0.6	
Tm_c [C]	34.6	40.6	40.9	40.8		
Tm_l [C]	37.9	38.8	40.0	40.0		
Tm_b [C]	42.5	40.0	42.4	39.2		

ヘテロ接合型太陽電池特性  
(4モジュール, アレイ全体)

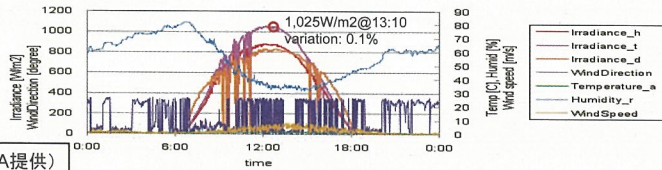


Date	2009/3/24 13:10					
Ch. No.	c2m1	c2m2	c2m3	c2m4	c2a	
Voc [V]	70.91	71.29	71.37	74.45	286.6	
Isc [A]	3.85	3.859	3.87	3.844	7.685	
Pmax [W]	212	213	214	212	1696	
Vpmax [V]	58.7	58.41	58.12	58.22	233.1	
Ipmax [A]	3.507	3.55	3.571	3.537	7.056	
F.F.	0.75	0.75	0.75	0.74	0.74	
Tm_c [C]	45.0	45.4	44.7	44.0		
Tm_l [C]	38.6	35.2	38.3	39.1		
Tm_b [C]	44.1	39.9	43.3	43.2		

多結晶シリコン太陽電池特性  
(5モジュール, アレイ全体)



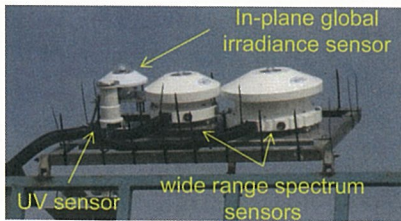
Date	2009/3/24 13:10					
Ch. No.	c3m1	c3m2	c3m3	c3m4	c3m5	c3a
Voc [V]	23.78	23.78	23.58	23.78	24.37	242.1
Isc [A]	8.58	8.55	8.66	8.58	8.58	8.6
Pmax [W]	132	133	134	133	128	1399
Vpmax [V]	17.41	17	17.22	17.11	16.37	178.2
Ipmax [A]	7.584	7.833	7.796	7.785	7.855	7.855
F.F.	0.64	0.65	0.65	0.65	0.61	0.67
Tm_c [C]	41.0	42.8	40.0	40.3	44.5	
Tm_l [C]	41.1	41.8	41.3	38.4	45.0	
Tm_b [C]	42.6	45.4	44.1	43.7	48.2	



参照気象データ(JWA提供)

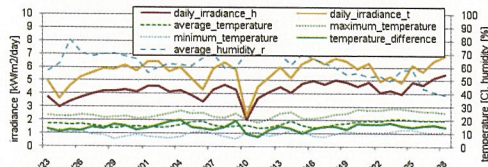
独立行政法人 産業技術総合研究所

# インドSECでの精密気象観測

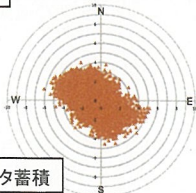


- Horizontal Irradiance (W/m<sup>2</sup>), In-plane Irradiance (W/m<sup>2</sup>)
- High Speed Irradiance (W/m<sup>2</sup>)
- Wide Range Spectrum (350-1700nm)
- Ambient Temperature (deg C), Relative Humidity (%)
- Wind Speed (m/s), Wind Direction (deg)
- Atmospheric Pressure (hPa), Dew Point (deg C)
- Absolute Humidity (g/m<sup>3</sup>), Ultra Violet (W/m<sup>2</sup>)

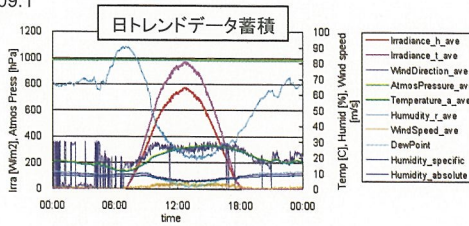
Since 2009.1



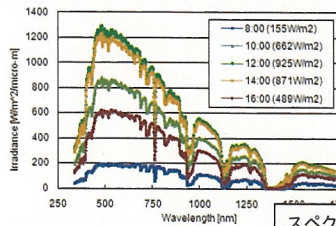
精密気象データ蓄積



風向風速データ蓄積



日トレンドデータ蓄積



スペクトルデータ蓄積

独立行政法人 産業技術総合研究所

## まとめ

- 日本および海外(タイ, インド)に太陽電池屋外曝露試験設備および精密気象観測設備を導入し, 各種太陽電池を異なる運転モードで屋外曝露試験開始.
  - 産総研つくばセンター(温帯湿潤): 7社15枚, 開放待機型
  - タイNSTDA(高温): 10社30枚, 開放待機型
  - 産総研九州センター(温帯湿潤): 3社3アレイ(各1.5kW), MPPT制御型
  - (予定)インドSEC(高温高温度差): 3社3アレイ(各1.5kW), MPPT制御型
- 日本-タイ-インドでの屋外曝露試験結果を比較し, 太陽電池寿命評価技術, 長期信頼性向上技術にフィードバック予定.
- 各地域の気象パターンを整理し, 発電量評価のモード設定に利用予定.
- 気候条件が異なる地域の分光日射データを蓄積し, 新型太陽電池設計の参照日射データとして提供予定.



# 各種太陽電池モジュールの分光感度測定方法

A Method for Spectral Response Measurements of PV Modules

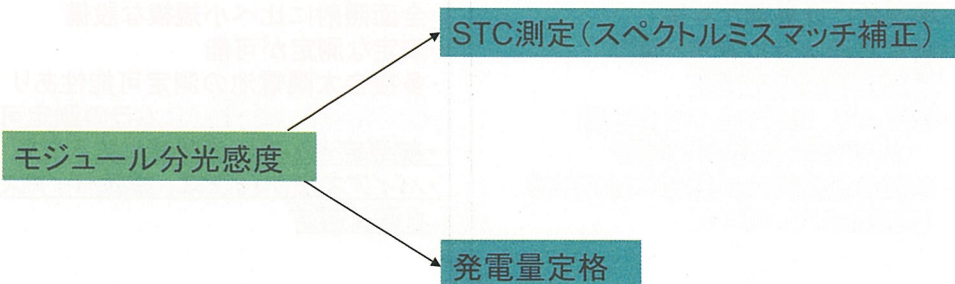
評価・システムチーム 津野 裕紀  
Yuki Tsuno

## 概要 (Outline)

- 1 モジュール分光感度の必要性
- 2 各機関のモジュール分光感度測定装置の開発状況
- 3 開発装置・測定手法
- 4 各機関のモジュール分光感度測定装置の比較
- 5 まとめ

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 1. モジュール分光感度測定技術の必要性



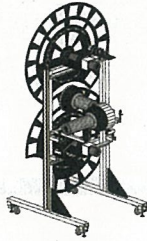
結晶系・薄膜など構造の異なる太陽電池モジュールの分光感度を測定するための技術開発が望まれる

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 2.各機関のモジュール分光感度測定装置の開発状況

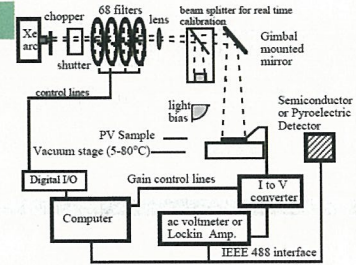
測定可能サイズ、対応可能PVに難あり

### 単接合用



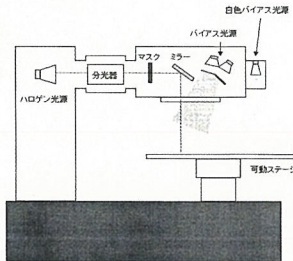
U. Bahrs, W. Zaïman, M. Mertens and H. A. Ossenkopf, AUTOMATIC LARGE AREA SPECTRAL RESPONSE FACILITY, 14th EUPVSEC Barcelona, (1997)

### 薄膜単接合用



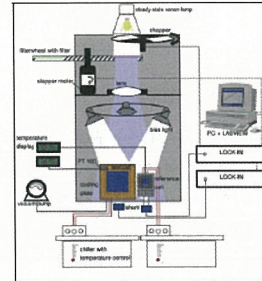
K. Emery, D. Dunlavy, H. Field, and T. Moriarty, Photovoltaic Spectral Responsivity Measurements, 2nd WCPEC, (1998)

### 薄膜多接合 薄膜単接合用



太陽光発電技術研究組合、(株)鐘淵化学工業、平成12年度NEDO 成果報告書「太陽光発電システム実用化技術開発 薄膜太陽電池の製造技術開発」(2001)

### 薄膜多接合 薄膜単接合用



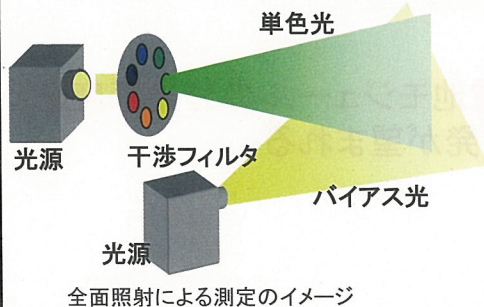
M. Praveetoni, D. Pavanello, A. Virtuani, H. Müllejäns, R.P. Kenny & E.D. Dunlop, Spectral Response Measurements of Multi-Junction PV Cells at the European Solar Test Installation and their Usage in Clear Day Outdoor Characterization, 23rd EUPVSEC Valencia (2008)

独立行政法人 産業技術総合研究所

## 主な測定方法と利点・欠点

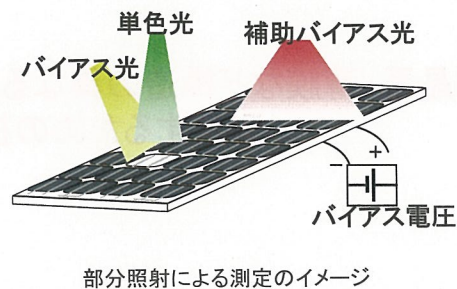
### 全面照射法

- ・理想的には最適な手法
- ・測定原理はセル測定と同じ
- ・大規模な設備が必要
- ・照度ムラ、光のちらつきが問題 (光学設計は非常に複雑)
- ・多接合太陽電池の測定には不向き (実現されていない)



### 部分照射法

- ・全面照射に比べ小規模な設備
- ・安定な測定が可能
- ・多接合太陽電池の測定可能性あり
- ・部分的な分光感度 (⇔ムラの測定可能)
- ・被測定セルを短絡状態にする技術
- ・バイアス光 (バイアス、補助バイアス) の適切な強度選定



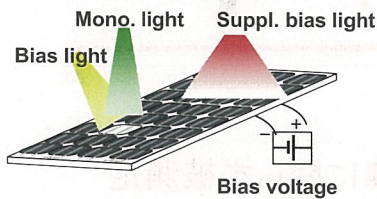
独立行政法人 産業技術総合研究所

### 3.開発装置・測定手法

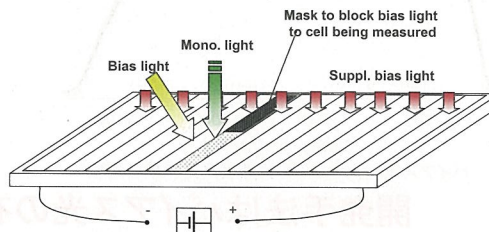


モジュール分光感度測定装置 (CEP-M7)  
Module SR measurement apparatus (CEP-M7)

- 結晶Si, 薄膜太陽電池に両対応のモジュール分光感度測定技術および測定装置を開発
- 1.8m × 1.2m対応
- 単色光: グレーティング方式、5cm × 5cm
- バイアス光 (白色、カラー) 5cm × 5cm

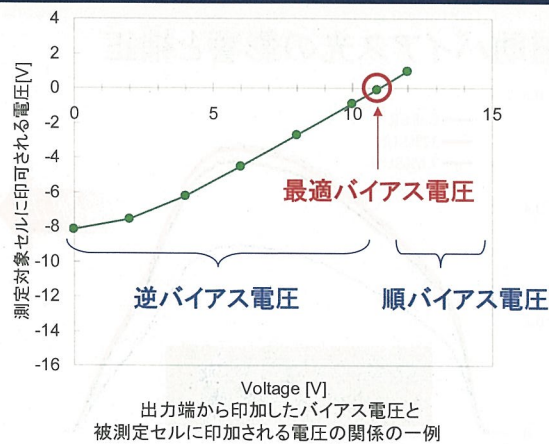
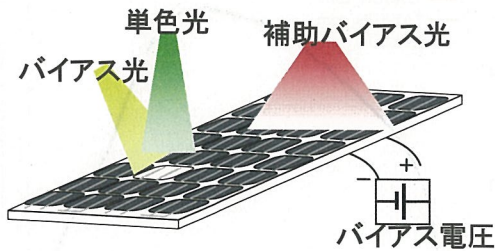


結晶Si系太陽電池の測定概要



薄膜太陽電池の測定概要

### バイアス電圧の印加

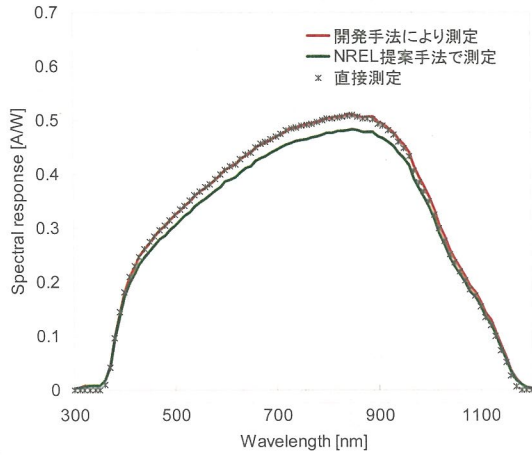


バイアス電圧: ⇒ 通常のセル測定と同様の方法では被測定セルに大きな逆バイアス電圧が印加される(セル破壊の危険)  
NREL以外はバイアス電圧について言及していない  
(バイアス光無のときのみ適用可能な方法)

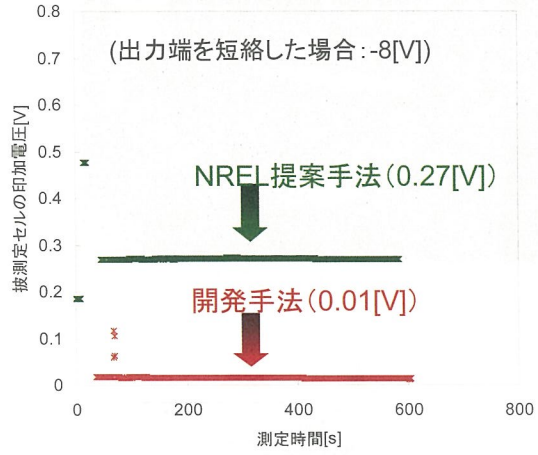
**バイアス光の有無に関らず被測定セルを短絡状態にするための最適バイアス電圧印加方法の開発が必要**

### 最適バイアス電圧の決定方法の比較 (バイアス光照射時)

NREL: 開放電圧を基に決定  
 AIST: I-V特性を基に決定



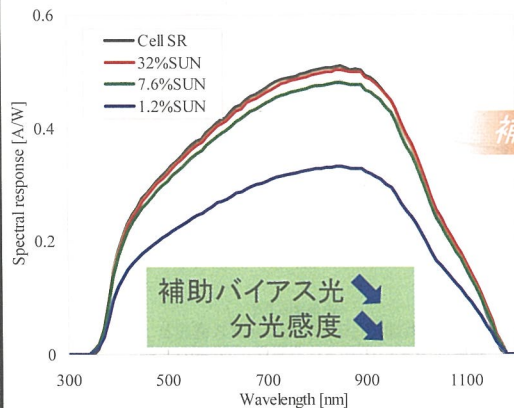
バイアス電圧決定法と分光感度測定結果の比較



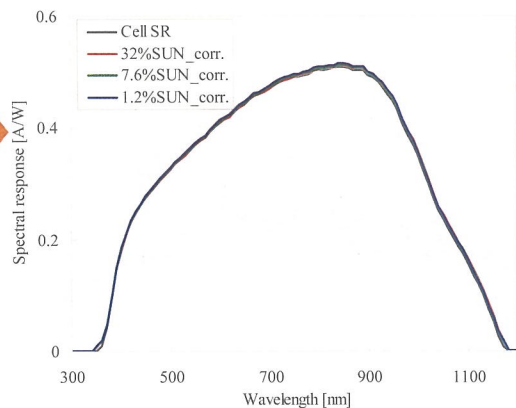
被測定セルに印加される電圧の比較

**開発手法はバイアス光の有・無に関らず被測定セルを短絡状態に設定可能**

### 補助バイアス光の影響と補正



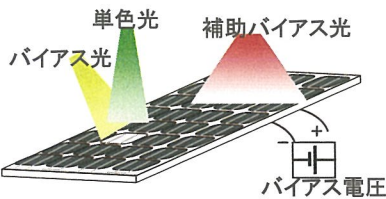
補助バイアス光を変化させたときの分光感度



分光感度補正後

補正式

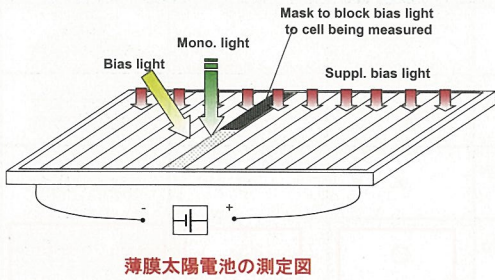
$$\Delta I = \Delta I' \frac{\frac{dI_{other}}{dV_{other}}}{\frac{dI_{module}}{dV_{module}}}$$



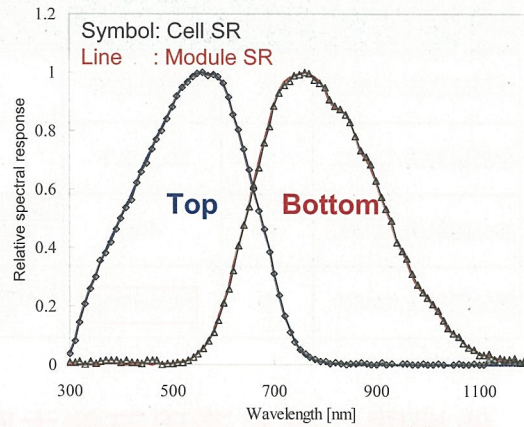
部分照射による測定のイメージ

**補正式の開発によって相対値だけでなく絶対値もセル測定と同等の結果を得ることができた**

### 薄膜多接合太陽電池モジュールの分光感度測定



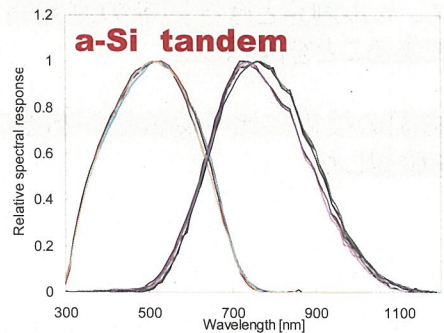
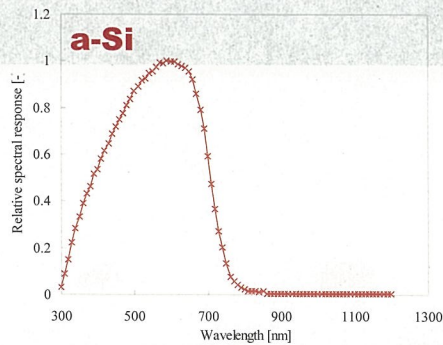
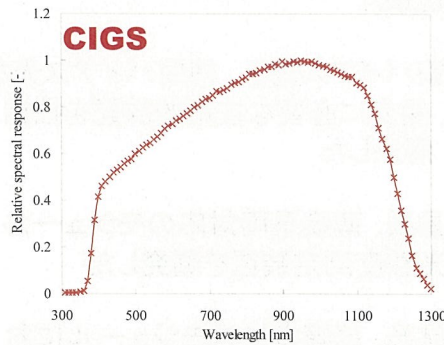
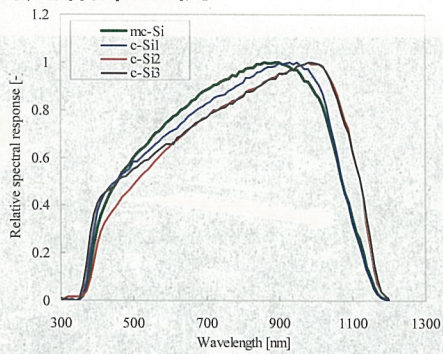
薄膜太陽電池の測定図



開発手法と直接測定した分光感度の比較

薄膜多接合太陽電池モジュールにおいても  
セル測定値と同等の測定精度を得ることが可能

### 測定結果の例



## 4. 各機関のモジュール分光感度測定装置・技術の比較

測定方法/機関	装置規模	測定可能面積	最適バイアス電圧の算出法	白色バイアス光	カラーバイアス光	適用太陽電池
全面照射法/(JRC)	大	直径1m以下	-	△	×	結晶 薄膜単接合
全面照射法/(JRC)	中	30cm以下	-	○	○	薄膜単接合 薄膜多接合
部分照射法/(NREL)	中	不明	開放電圧から決定	×	×	薄膜単接合
部分照射法/(AIST)	中	180cm以上	I-V特性から決定	○	○	結晶, 薄膜単接合, 薄膜多接合

他機関に比べ適用可能太陽電池、サイズ、精度の面で優位性のある測定装置・技術を開発した

## 5. まとめ

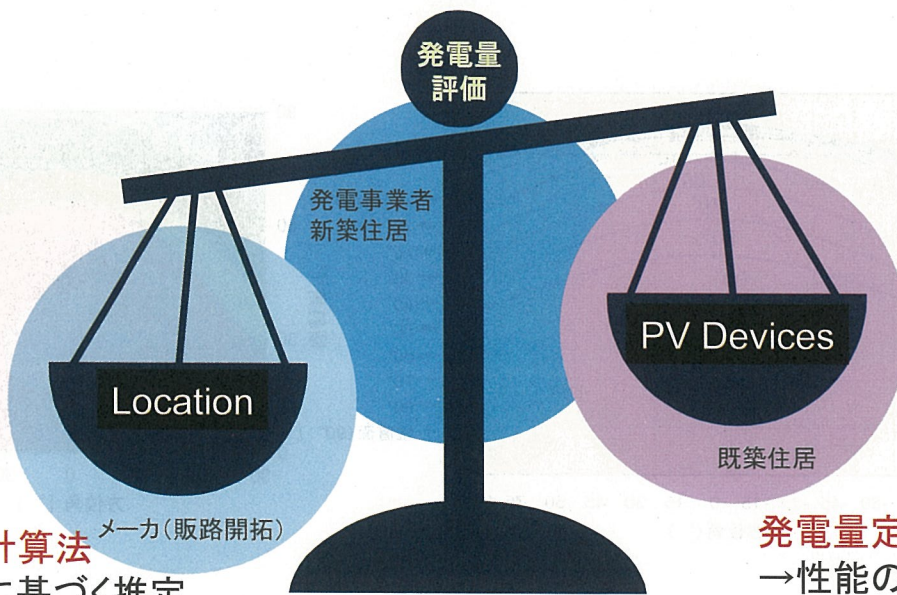
- 1) 最適バイアス電圧、補助バイアス光など、開発に必要な技術的課題を抽出し、解決した
- 2) 結晶系、薄膜系両対応のモジュール分光感度測定装置を開発した
- 3) 結晶系、薄膜多接合モジュールにおいて、セル測定とほぼ同等の測定精度であることを確認した
- 4) 他機関の技術に比べ優位性があることを確認した



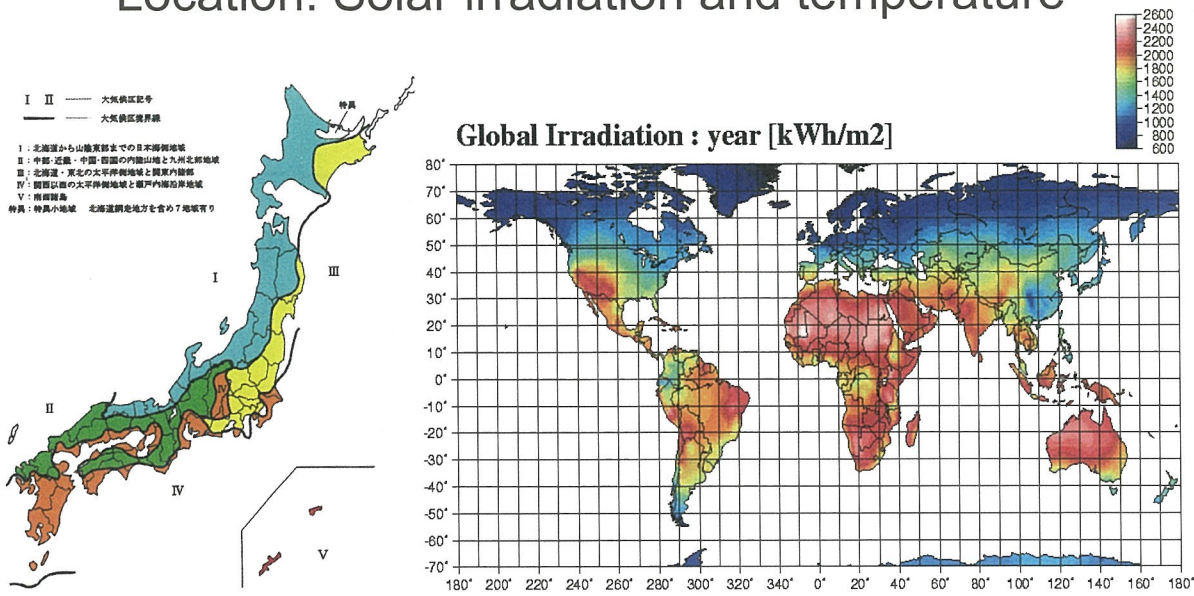
# 太陽電池モジュールの発電量定格と評価プラットフォーム Energy Rating of PV modules and testing platform

評価システムチーム  
大谷謙仁

## 太陽光発電システムの導入計画において、どちらを優先すべきか？ Priority of designing PV introductions



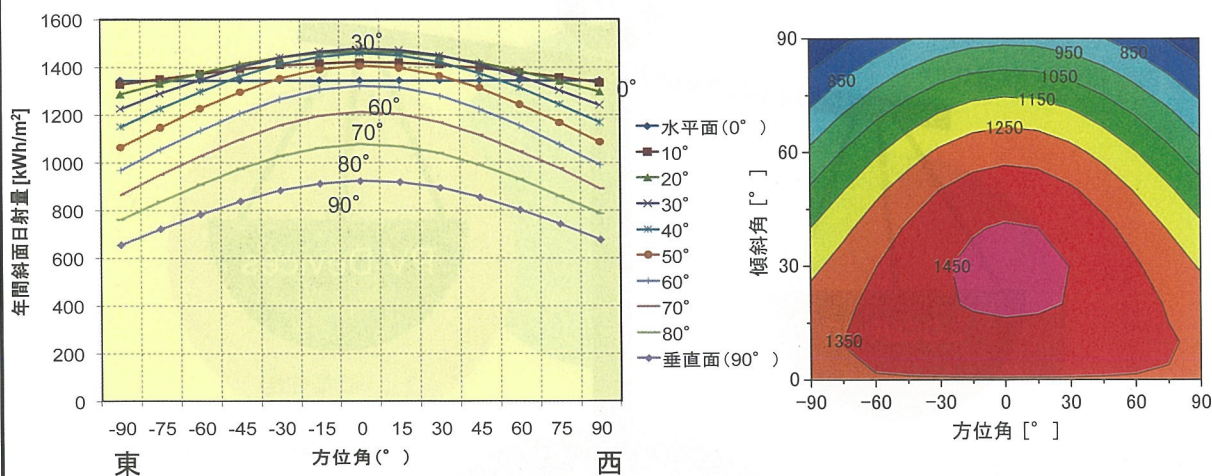
# 設置場所の選定(日射量と気温) Location: Solar irradiation and temperature



日本気象協会(JWA): 日射気候区分及び世界気象資料に基づく

独立行政法人 産業技術総合研究所

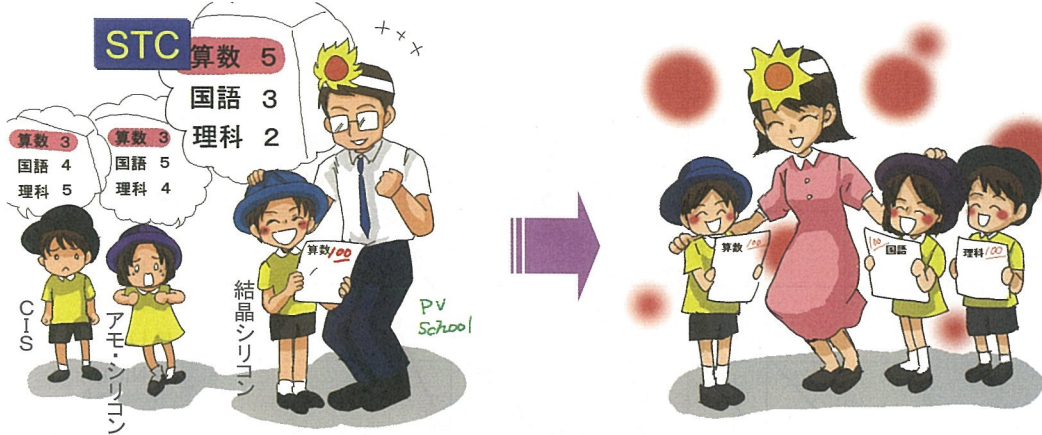
# 日射量とアレイ設置角度の関係(つくば市の例)



独立行政法人 産業技術総合研究所



# 多種多様な太陽電池デバイスの評価指標 How to evaluate the value of various PV devices



良い教師の条件とは...

複数の評価軸で、個性を伸ばす

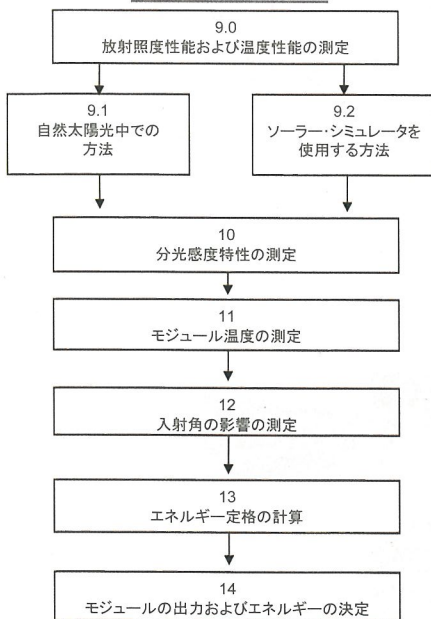
1回のテストでなく、期間を取り複数の成績の合計

→ Energy Rating

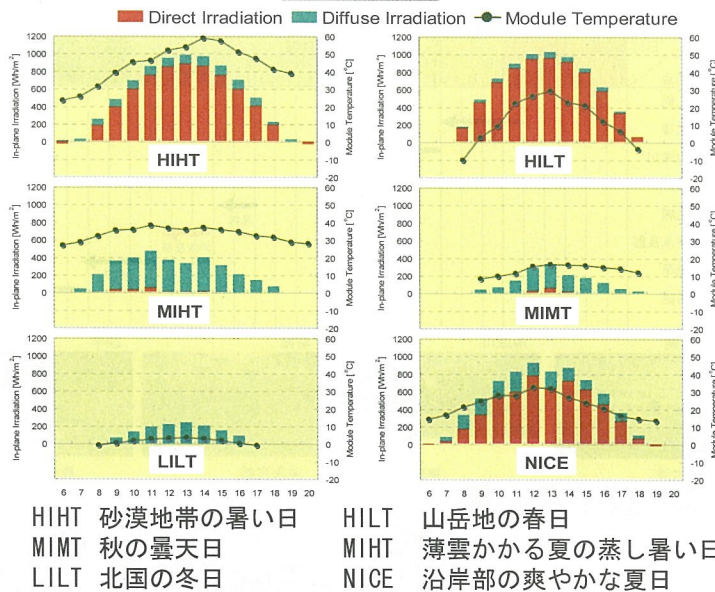
## IEC61853 (Energy Rating) の計算手順

※2001年の82/254/NPに基づくもので、決定されたものではない。

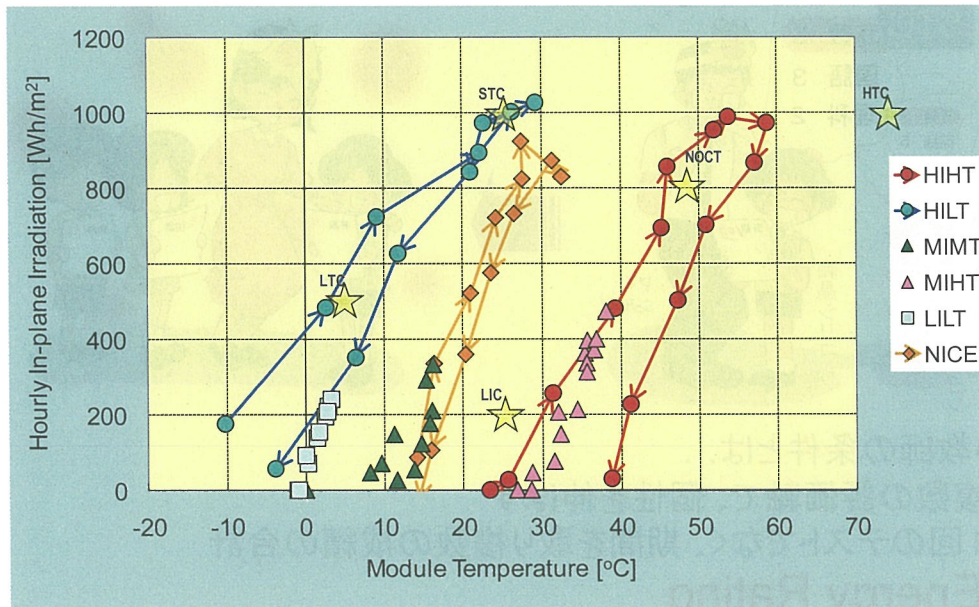
### フローチャート



### 気象モード



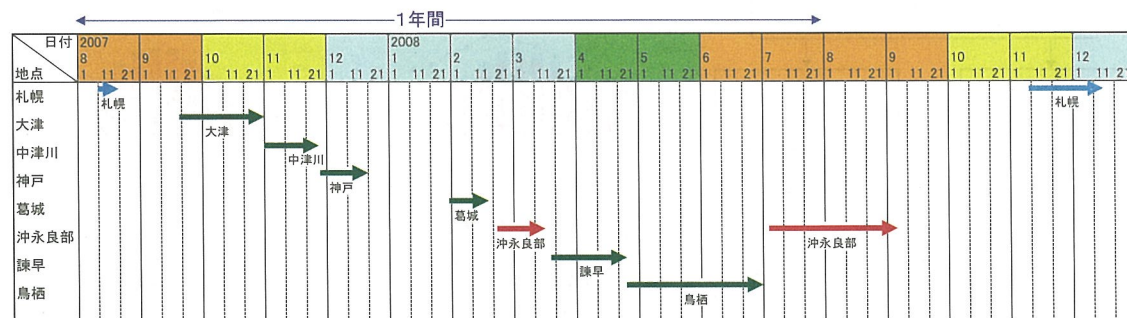
# IEC61853(案) 気象モードのプロファイル Daily-profiles of the mode of IEC61853 (draft)



独立行政法人 産業技術総合研究所

## 太陽電池モジュール屋外ラウンドロビン測定実験 Round-Robin Tests of PV modules

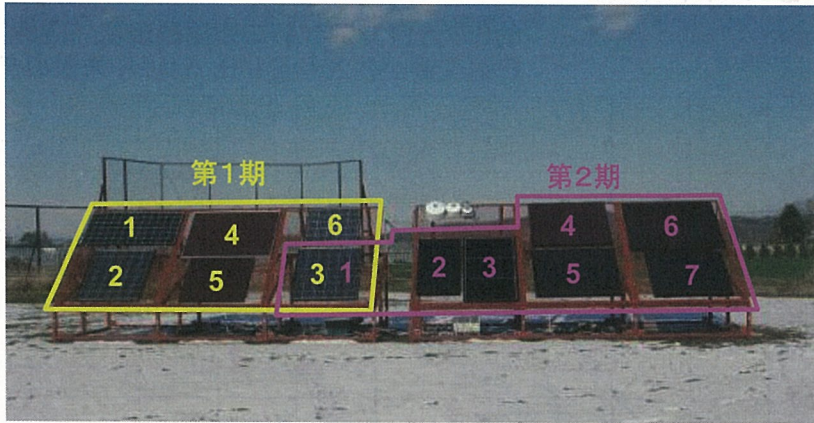
・ 光産業技術振興協会 新型太陽電池標準化委員会 ラウンドロビン小WGとの協同により、5種6枚の太陽電池モジュールを1年間に10個所で持ち回りI-V測定を実施



独立行政法人 産業技術総合研究所

# 屋外ラウンドロビン測定実験 第1期(終了)・第2期

## Round-Robin Tests of PV modules; 1<sup>st</sup> stage and 2<sup>nd</sup> stage



No.	太陽電池種別	製造者	製造年
1	c-Si (ヘテロ接合)	三洋電機	2007/9
2	c-Si (多結晶)	シャープ	2006
3※	c-Si (多結晶)	シャープ	2006
4	a-Si	三菱重工	2006
5	a-Si	カネカ	2005/9
6	c-Si (多結晶)	三菱電機	2007/9

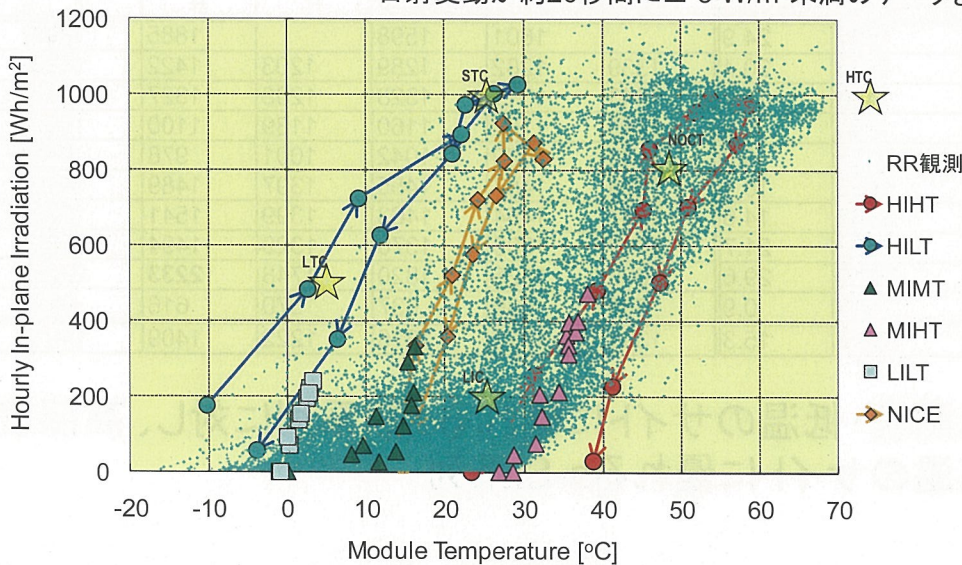
No.	太陽電池種別	製造者	製造年
1※	c-Si (多結晶)	シャープ	2006
2	CIS	昭和シェルソーラー	2008
3	CIS	ホンダ/ソルテック	2008/8
4	a-Si	カネカ	2008/10
5	薄膜Si (多接合)	カネカ	2008/10
6	薄膜Si (多接合)	三菱重工	2008
7	薄膜Si (多接合)	シャープ	2008

独立行政法人 産業技術総合研究所

# ラウンドロビン第1期 気象分布とモード

Meteorological observations and 61853 mode under Round Robin test

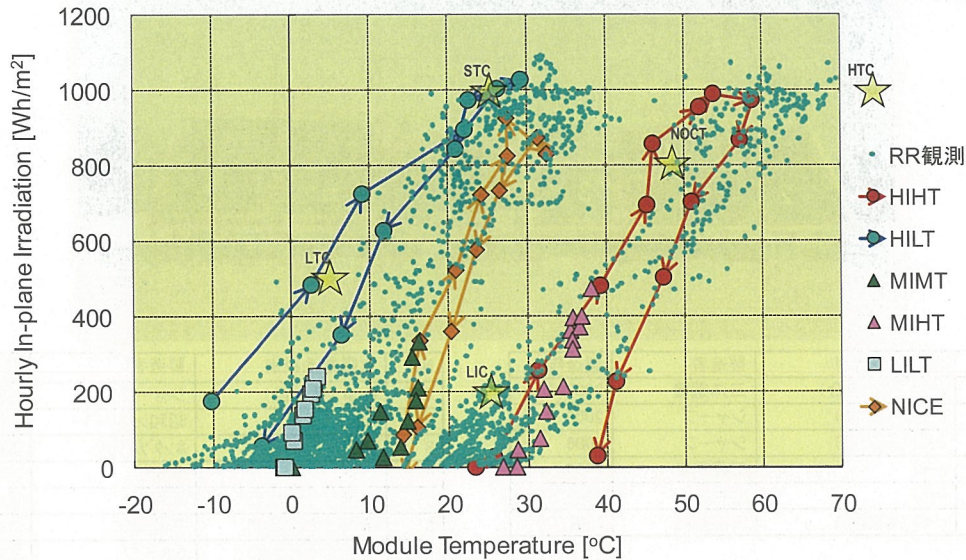
約6万点 (4970時間) の観測値から、日射強度 5 W/m<sup>2</sup>以上、日射変動が約20秒間に± 5 W/m<sup>2</sup>未満のデータを抽出



独立行政法人 産業技術総合研究所

## ラウンドロビン第1期 気象分布とモード 札幌(@Sapporo)の夏季(2007/8)と冬季(2008/11-12)

約6万点(4970時間)の観測値から、日射強度 5 W/m<sup>2</sup>以上、日射変動が約20秒間に± 5 W/m<sup>2</sup>未満のデータを抽出



独立行政法人 産業技術総合研究所

## ラウンドロビンまとめ: 等価稼働時間

Data summary; Module Yield

Site Information			Yield [Wh/Wp/y]						Period [days]	
CODE	Irradiation [kWh/m <sup>2</sup> /y]	Air Tmpr [C°]	c-Si				a-Si			
			A	B	C	D	E	F		
SPR	1901	24.9		1601	1598			1885	<b>1907</b>	9.0
OTS	1466	20.4	1339	1282	1289	1203		1422	<b>1428</b>	39.8
NGW	1486	11.0	<b>1443</b>	1311	1328	1208		1327	1319	25.2
KBE	1284	9.3	<b>1245</b>	1102	1160	1139		1100	1097	22.1
KTG	1119	5.2	<b>1122</b>	1039	1042	1001		978	945	19.1
OKE	1632	16.1	<b>1578</b>	1457	1455	1397		1489	1449	21.2
ISH	1665	14.6	<b>1587</b>	1454	1463	1399		1541	1520	36.1
TOS	1593	21.7	<b>1513</b>	1388	1370	1329		1494	1486	66.8
OKE	2219	29.6	2006	1825	1820	1748		<b>2233</b>	2224	59.5
SPR	913	0.9	<b>685</b>	639	637	570		616	632	30.9
Average	1528	15.3	1391	1310	1316	1222		1409	1401	330

- 低照度・低温のサイトに優れるc-Si系列に対し、高照度・高温のサイトに優れるa-Si系列

独立行政法人 産業技術総合研究所

# ラウンドロビンまとめ: 発電量比較(ベンチマーク値)

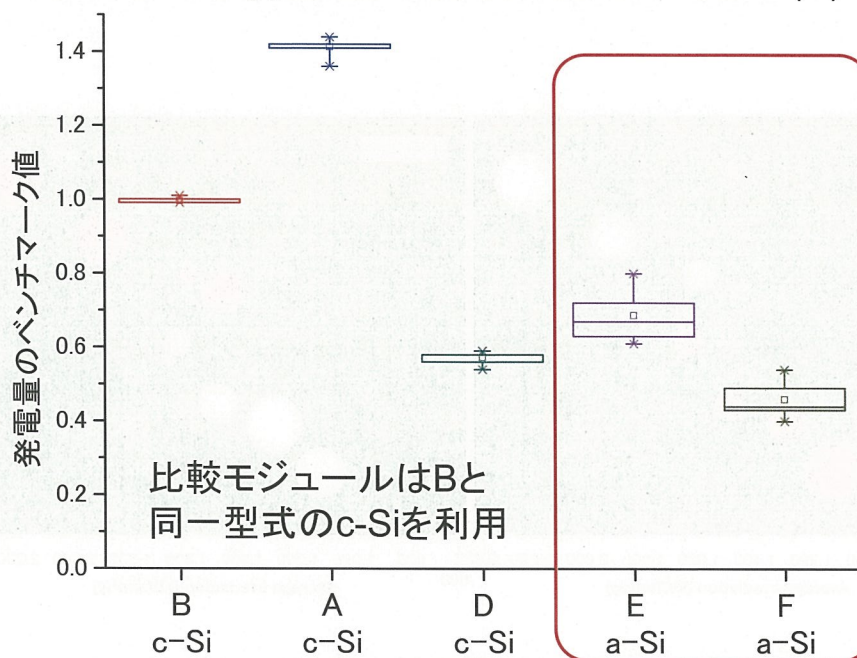
Data summary; Benchmark to control module (C)

CODE	Site		Relative Yield						Period [days]	
	Irradiation [kWh/m <sup>2</sup> /y]	Air Tmpr [C°]	c-Si				a-Si			
			A	B	C	D	E	F		
SPR	1901	24.9		1.00	-			0.77	0.52	9.0
OTS	1466	20.4	1.36	0.99	-	0.56		0.72	0.49	39.8
NGW	1486	11.0	1.42	0.99	-	0.55		0.65	0.43	25.2
KBE	1284	9.3	1.40	0.99	-	<b>0.59</b>		0.62	0.41	22.1
KTG	1119	5.2	1.41	1.00	-	0.58		0.61	0.40	19.1
OKE	1632	16.1	1.42	1.00	-	0.58		0.67	0.44	21.2
ISH	1665	14.6	1.42	0.99	-	0.58		0.69	0.45	36.1
TOS	1593	21.7	<b>1.44</b>	<b>1.01</b>	-	0.59		0.71	0.48	66.8
OKE	2219	29.6	1.44	1.00	-	0.58		<b>0.80</b>	<b>0.54</b>	59.5
SPR	913	0.9	1.41	0.99	-	0.54		0.63	0.43	30.9
Average	1528	15.3	1.41	1.00	-	0.57		0.69	0.46	330
St.Dev			0.03	0.01	-	0.02		0.06	0.05	

- 比較モジュール(ここではc-SiのC)の期間発電量に対する比率をベンチマークに用いる
- 異なるデバイス間では環境因子の影響を受ける

# ラウンドロビンまとめ: 発電量比較(ベンチマーク値)

Data summary; Benchmark to control module (C)

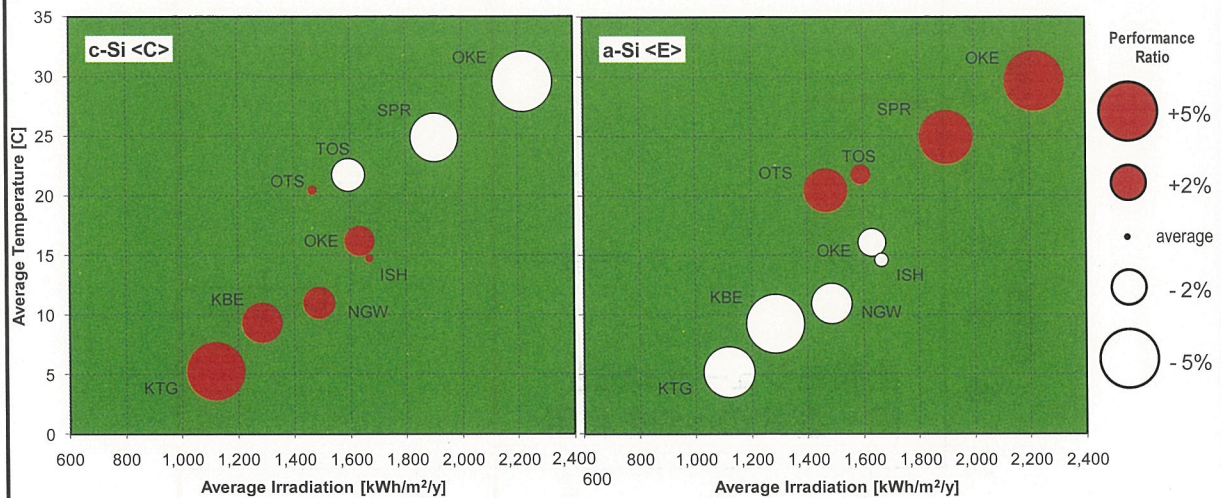


## ラウンドロビンまとめ:PR (Performance Ratio)

CODE	Site		Performance Ratio						Period [days]	
	Irradiation [kWh/m <sup>2</sup> /y]	Air Tmpr [C°]	c-Si				a-Si			
			A	B	C	D	E	F		
SPR	1901	24.9		0.84	0.84			0.99	<b>1.00</b>	9.0
OTS	1466	20.4	0.91	0.87	0.88	0.82		0.97	<b>0.97</b>	39.8
NGW	1486	11.0	<b>0.97</b>	0.88	0.89	0.81		0.89	0.89	25.2
KBE	1284	9.3	<b>0.97</b>	0.86	0.90	0.89		0.86	0.85	22.1
KTG	1119	5.2	<b>1.00</b>	0.93	0.93	0.89		0.87	0.84	19.1
OKE	1632	16.1	<b>0.97</b>	0.89	0.89	0.86		0.91	0.89	21.2
ISH	1665	14.6	<b>0.95</b>	0.87	0.88	0.84		0.93	0.91	36.1
TOS	1593	21.7	<b>0.95</b>	0.87	0.86	0.83		0.94	0.93	66.8
OKE	2219	29.6	0.90	0.82	0.82	0.79		<b>1.01</b>	1.00	59.5
SPR	913	0.9	<b>0.75</b>	0.70	0.70	0.62		0.68	0.69	30.9
Average	1528	15.3	0.93	0.85	0.86	0.82		0.90	0.90	330

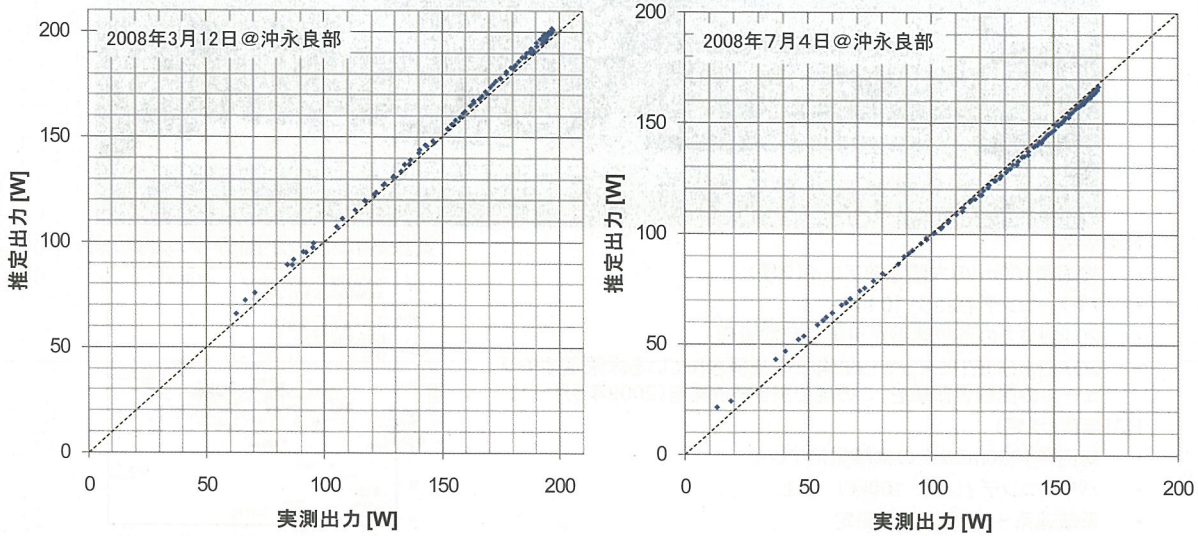
- 低照度・低温のサイトに優れるc-Si系列に対し、高照度・高温のサイトに優れるa-Si系列 → 特徴は次のグラフにて

## ラウンドロビンまとめ:PR (Performance Ratio)



### 室内測定(1Sun-0.2Sun, 25°C-60°C) + 線形内挿法 と 屋外測定値との比較 (1) c-Si

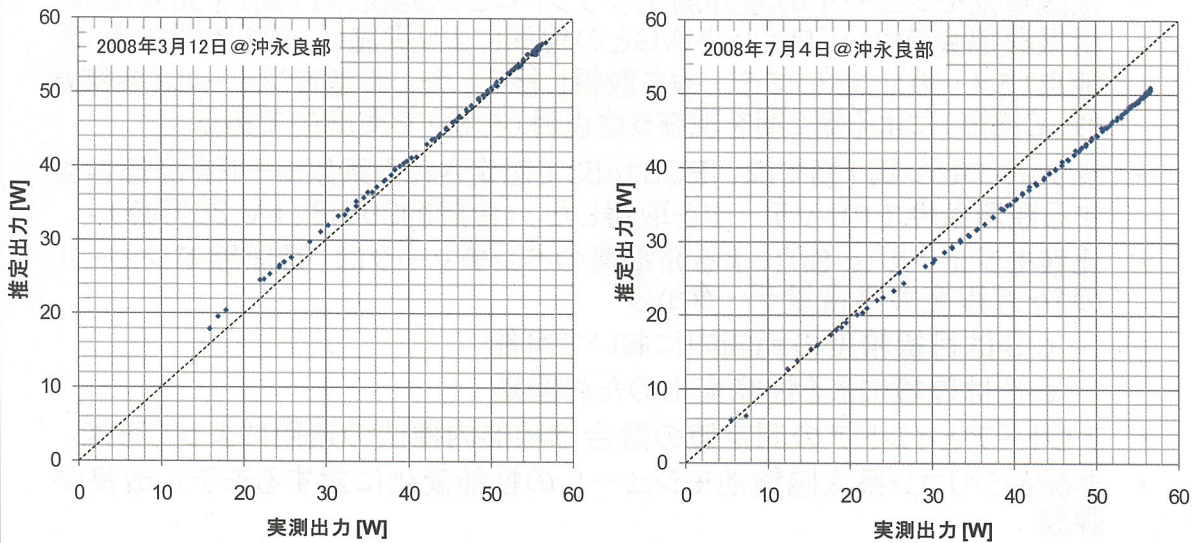
※室内測定はJETにより2008年9月に実施



独立行政法人 産業技術総合研究所

### 室内測定(1Sun-0.2Sun, 25°C-60°C) + 線形内挿法 と 屋外測定値との比較 (2) a-Si

※室内測定はJETにより2008年9月に実施



独立行政法人 産業技術総合研究所

# 九州センター(佐賀県鳥栖市) 評価プラットフォーム AIST-Kyusyu PV testing platform



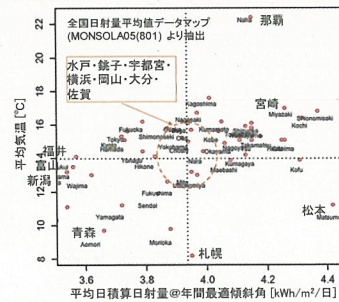
H20年度

- 総面積100m<sup>2</sup>の太陽電池アレイ(2種)
- パワーコンディショナ 10 kW
- 20 kWまでの系統連系が可能な配電設備
- JQAおよびJETによって1992年から暴露されている太陽電池モジュールの耐候性試験を、この地で引き続き実施(2009年3月～)。

H21年度(予定)

- 総面積1000m<sup>2</sup>以上の太陽電池アレイ
- パワーコンディショナ 100kW 以上
- 系統連系+I-V 切り替え測定
- 屋外→室内 相互比較による性能評価・長期信頼性の分析

気象的にはわが国の平均的傾向



独立行政法人 産業技術総合研究所

## まとめ Conclusions

- 各種太陽電池モジュールの任意期間における発電量の推定、ベンチマーク方式を開発。年間発電量の推定精度は±5%未満を目標とする。
- 太陽電池モジュールの屋外測定ラウンドロビン実験(第1期)を光産業技術振興協会ラウンドロビン小WGとの協同により実施し、約1年間で全10地点(5メーカー)においてデータを取得し終了した。新型モジュール(多接合形、CIS形)による第2期を現在5地点目(札幌)で実施中である。
- ラウンドロビン第1期では、IEC61853で想定される気象モードをほぼ包含する観測条件でのI-Vデータを取得した。(合計約200日、I-V 36万点)
- 比較モジュール(c-Si)による発電量のベンチマークは、被試験モジュールの1ヶ月程度の発電量データから
  - c-Siは目標精度の範囲内において可能
  - a-Siは環境による性能変化のため困難
- アウトドアとインドアの測定値の融合は線形内挿法の適用によって可能。
- 非結晶シリコン系太陽電池モジュールの性能変化に対するモデル改良が課題

独立行政法人 産業技術総合研究所



## 高信頼性太陽電池モジュール 開発・評価コンソーシアムの概要

Outline of consortium study on  
fabrication and characterization of solar cell modules  
with long life and high reliability

独立行政法人産業技術総合研究所  
太陽光発電研究センター  
増田 淳

## 発電コスト削減のための3つの手法

- 変換効率の向上  
→ 高効率化技術 ← 材料開発、デバイス構造
- 製造コストの削減  
→ 高生産性技術 (高スループット、大面積)
- 長寿命化  
→ 高信頼性モジュール製造技術

## 「高信頼性太陽電池モジュール 開発・評価コンソーシアム」の概要

- 開始時期：平成21年秋以降
- 研究内容：  
新規材料、新規構造を用いた太陽電池モジュールを開発する。  
各種太陽電池モジュールおよび部材等の信頼性を評価する。  
試験方法そのものを開発する。
- 構成：産総研、民間企業等（複数機関）

## コンソーシアムの目的

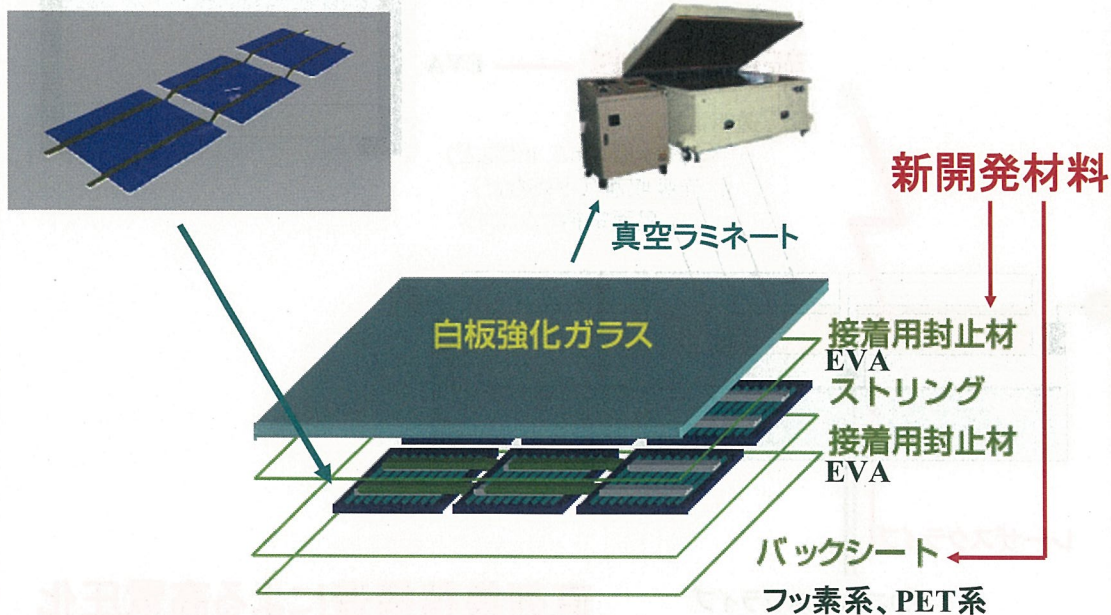
- 本コンソーシアムは、産総研と参加企業が協力し、太陽光発電モジュールに関する基盤技術のボトムアップを図ることにより、わが国太陽光発電産業の国際競争力を強化することを目的とする。
- 本コンソーシアムでは、産総研が提供するモジュールの試作・評価に関するプラットフォームを用いて、高信頼性・長寿命が得られるモジュール部材、構造を開発するとともに、試験法を確立する。プラットフォームの立上げにおいては、ある程度のレベルの標準的なモジュールを試作可能とすることを目的とし、当面は高性能化を目的とするものではない。
- 複数の企業で系統的な試験を行うことによるデータベースの構築、他社との交流や人的ネットワークの構築を図る。
- PVTEC等他団体の協力を得て、部材および評価・試験法についての規格化・標準化を図る。
- 中核となる共同研究員に太陽電池モジュールの作製、評価の技能を修得させ、参加企業の人材育成に資する。

## モジュール作製方法・モジュール構造の研究開発

- 結晶シリコン系、薄膜シリコン系、CIGS系を対象とする。
- コンソーシアム参加企業等で新たに開発された接着封止材、バックシート材、配線材等の新規材料を用いてモジュールを作製する。
- 新規材料に応じたモジュール作製方法を開発する。
- 新規材料に応じたモジュール構造を開発する。
- 架台、設置工法等についても検討する。

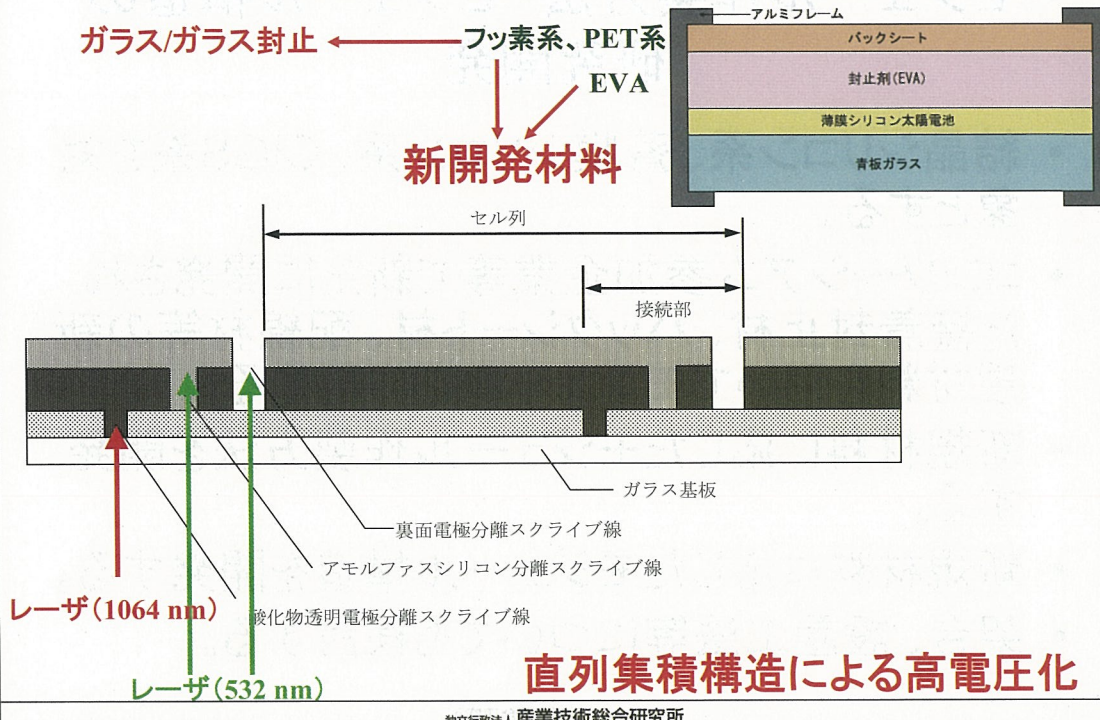
独立行政法人 産業技術総合研究所

## 結晶シリコン太陽電池のモジュール構造

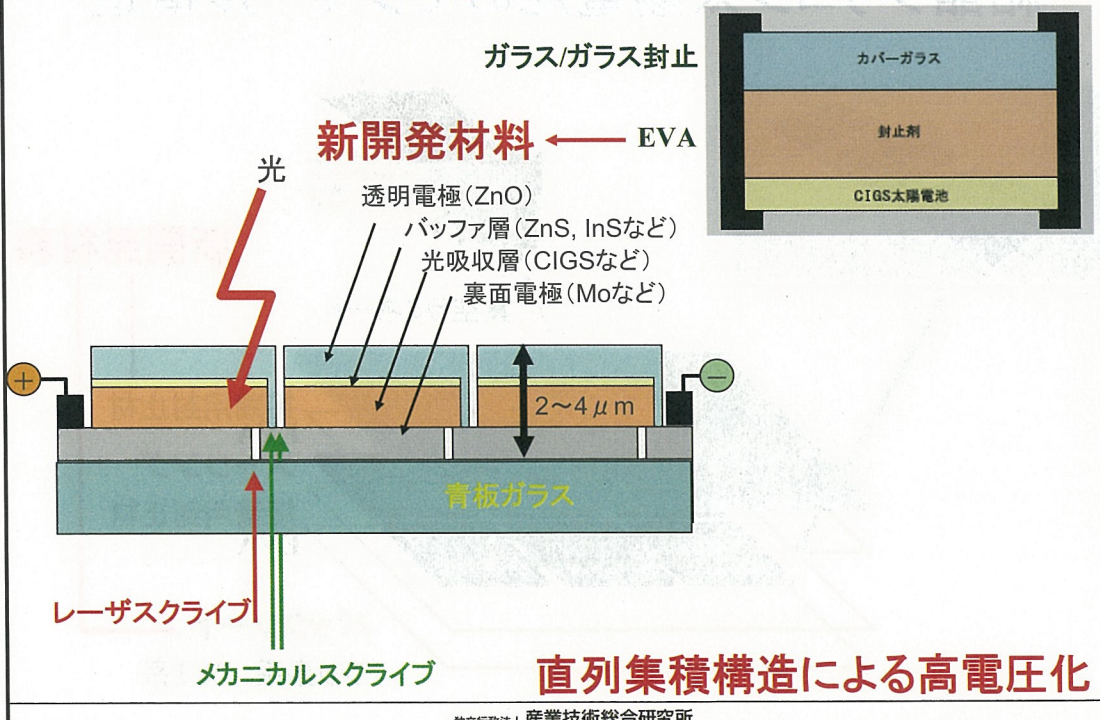


独立行政法人 産業技術総合研究所

# 薄膜シリコン太陽電池のモジュール構造

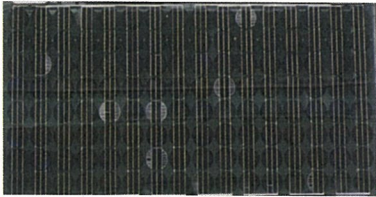


# CIGS太陽電池のモジュール構造

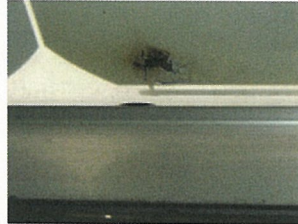


# モジュール評価方法の研究開発

加速試験結果と長期屋外曝露試験結果(九州センター等)を対応させることにより、材料の開発にフィードバックするとともに、国際的に認知される加速劣化試験方法の開発を行い、その成果を規格に反映させる。



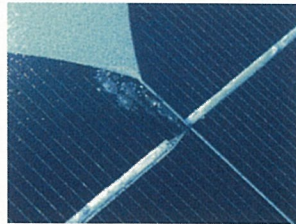
剥離



バックシートの焦げ



着色



EVAの気泡

# コンソーシアムの基本的構成

