

## 第38回 IEEE 光起電力専門家会議 (38<sup>th</sup> IEEE Photovoltaic Specialists Conference) 報告

2012. 6. 11

山口真史 (豊田工大)

1. 開催月日：2012年6月3日～8日。

2. 開催場所：Austin Convention Center (オースチン、米国)。

3. 本会議の概要：米国電気電子学会 (IEEE) 主催の太陽光発電会議で、2008 年から、毎年開催されることとなった。今回の会議の組織委員長は Billy J. Stanbery (HelioVolt) で、プログラム委員長は Angus Rockett (イリノイ大) であった。

今回は、41 カ国から約 1,536 名の参加者があった。太陽光発電に対する大きな関心と関連分野に参画する人々の増加も反映していると思われる。図 1 に、国別参加者数を示す。国別では、①米国 1132 名、②日本 90 名、③ドイツ 66 名、④韓国 45 名、⑤台湾 43 名、⑥中国 34 名、⑦オーストラリア 24 名、⑦オランダ 24 名、⑦シンガポール 24 名、⑩英国 17 名、の順であった。

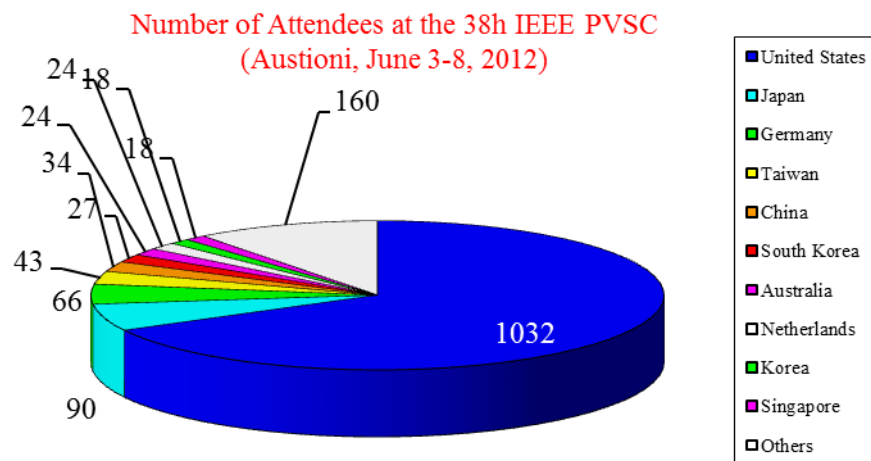


図 1 国別参加者数

PV Velocity Forum等を通じて、各国のPVロードマップ、産業界の招待講演が企画され、プログラム構成に関する運営側の努力の跡が現れていた。

図 2 は、国別発表論文件数を示す。44カ国から、招待講演を含めて772件の論文発表があった。国別では、①米国502件、②日本68件、③ドイツ52件、④台湾51件、⑤中国40件、⑥インド29件、⑦韓国28件、⑧オランダ22件、⑨オーストラリア17件、⑩英国15件、⑩スペイン15件、の順であった。

**Number of Papers to be presented  
at the 38th IEEE-PVSC  
(Austin, USA, June 3-8, 2012): 972 Papers**

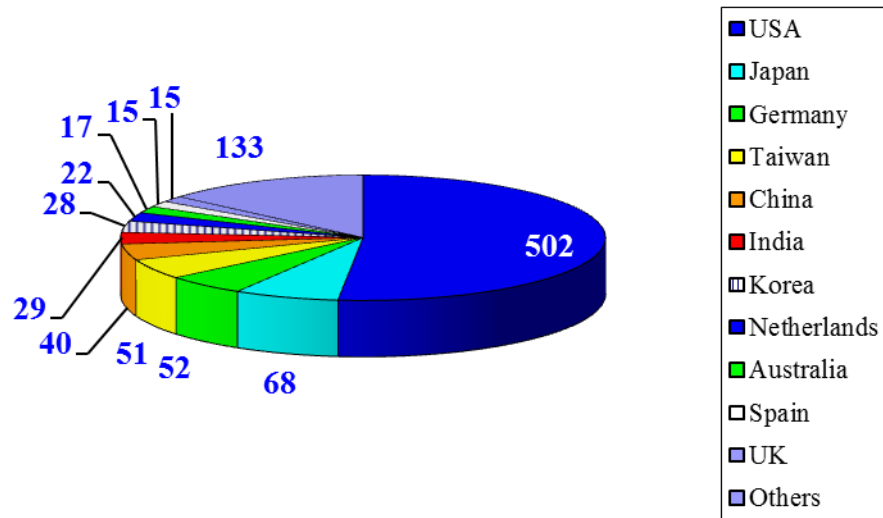


図2 国別発表論文件数（資源総合システム㈱提供）

**Number of Papers to be presented  
at the 38th IEEE-PVSC  
(Austin, USA, June 3-8, 2012)**

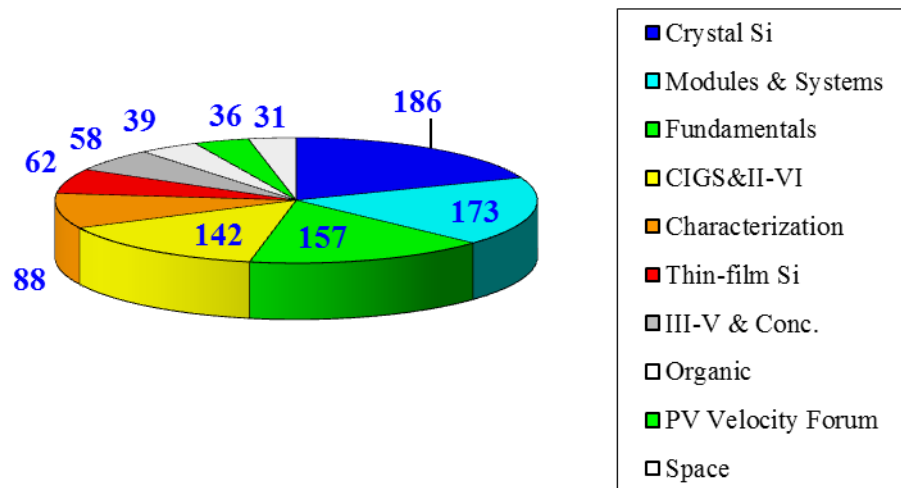


図3 発表論文件数の分野別内訳（資源総合システム㈱提供）

図3は、発表論文件数の分野別内訳を示す。分野別では、①結晶Si系186件、②モジュールおよびシステム系173件、③基礎および新概念157件、④CIGS、CdTeおよびII-VI族系142件、⑤キャラクターゼーション88件、⑥薄膜Si系62件、⑦III-V族および集光58件、⑧有機太陽

電池39件、⑨PV Velocity Forum36件、⑩宇宙31件、の順であった。

この他、40社の展示があった。

#### 4. Cherry Award受賞者と受賞記念講演

Cherry Award ChairであるS. Wenham (UNSW) より、William R. Cherry Awardの経緯(表1)、これまでの受賞者(表2)の説明がなされた。

表1 William R. Cherry Awardの経緯

This award is named in honor of William R. Cherry, a founder of the photovoltaic community. In the 1950's, he was instrumental in establishing solar cells as the ideal power source for space satellites and for recognizing, advocating, and nurturing the use of photovoltaic systems for terrestrial applications. The William R. Cherry award was instituted in 1980, shortly after his death. The purpose of the award is to recognize engineers and scientists who devote a part of their professional life to the advancement of the technology of photovoltaic energy conversion. The nominee must have made significant contributions to the science and/or technology of PV energy conversion, with dissemination by substantial publications and presentations. Professional society activities, promotional and/or organizational efforts and achievements are not considerations in the election for the award.

表2 これまでのWilliam Cherry Awardの受賞者

|                              |                                 |                             |
|------------------------------|---------------------------------|-----------------------------|
| Dr. Paul Rappaport 1980      | Mr. Peter A. Iles 1991          | Dr. Ajeet Rohatgi 2003      |
| Dr. Joseph L. Loferski 1981  | Dr. Lawrence L. Kazmerski 1993  | Dr. Timothy J. Coutts 2005  |
| Prof. Martin Wolf 1982       | Prof. Yoshihiro Hamakawa 1994   | Dr. Antonio Luque 2006      |
| Dr. Henry W. Brandhorst 1984 | Dr. Allen M. Barnett 1996       | Dr. Masafumi Yamaguchi 2008 |
| Mr. Eugene L. Ralph 1985     | Dr. Adolf Goetzberger 1997      | Dr. Stuart Wenham 2009      |
| Dr. Charles E. Backus 1987   | Dr. Richard J. Schwartz 1998    | Dr. Richard King 2010       |
| Dr. David E. Carlson 1988    | Dr. Christopher R. Wronski 2000 | Dr. Jerry Olson 2011        |
| Dr. Martin A. Green 1990     | Dr. Richard M. Swanson 2002     |                             |

今回の受賞者は、Sarah Kurtz(NREL)で、高効率III-V族化合物多接合太陽電池や集光型太陽電池の研究開発への貢献が評価されたものである。

“Persistence in the Face of Skepticism: Our Response When the World Says ” It Can’ t Be Done” ” と題して、受賞記念講演がなされた。

彼女の貢献の一つであるIII-V族化合物多接合太陽電池や集光型太陽電池の高効率化から話が展開された。1984年に、J. Olson (NREL) によりGaInP/GaAs 2 接合セルが提案され、1990年、1994年に、それぞれ、27.3%、29.5%の高効率化が達成された。彼女も、高効率化に貢献している。その後、Spectrolab等に技術移転され、1997年には、宇宙用太陽電池として実用化されている。1997年に、4、5 接合用に、バンドギャップ1eVの新材料の重要性を提案し、InGaAsNのIII-V-N希釈系新材料および太陽電池の研究がなれてきたが、効率5%に達せず、研究開発を中止した。皮肉にも、2011年に、スタンフォード大設立でSan JoseにあるSolar Junctionは、5.5mmx5.5mmのGaInP/GaAs/GaInAsN 3 接合セルの925倍集光で、図5に示すように、効率43.5%の世界最高効率を達成している。NRELの認定値である。

GaInAsNの1eV材料を導入したことが、高効率化につながっている。今後の高効率のためには、基礎的な理解が必要である。セルの薄膜化は、非輻射再結合の抑制によるVoc向上、light trapping効果による高効率化が期待できる。図6に示すように、集光型太陽光発電（CPV）は、急速に市場拡大の方向にあり、セル効率50%、モジュール効率40%の達成は可能であろう。

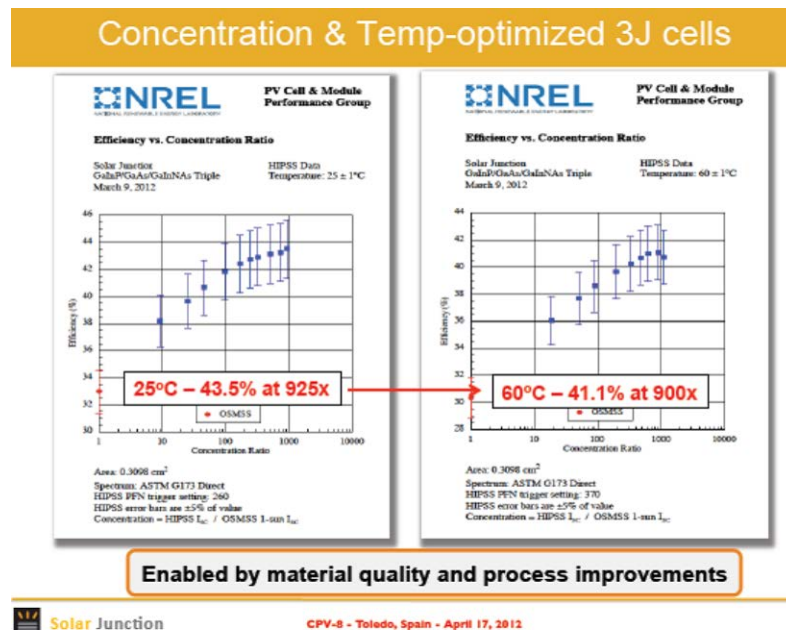


図5 Solar Junctionによる世界最高効率のInGaP/GaAs/GaInAsN3接合セルの集光特性

## Growth of PV industry – Technology Trends

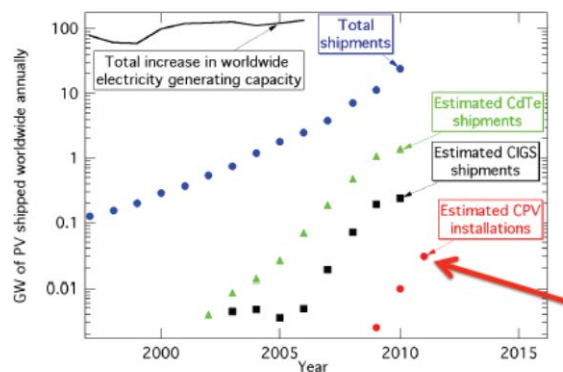


図6 種々のPVモジュールの出荷量の推移

Solar Junctionに加え、Sharpもつい最近、InGaP/GaAs/InGaAs 3 接合セルの306倍集光で、43.5%の世界最高効率を実現している。彼女の研究開発の中心は、信頼性と品質保証に移っている。NREL、AIST、JRC、SEMIによるInternational PV Module Quality Assurance Forumを企画するなど、関連分野で中心的存在となっている。品質保証システムの開発やセル、モジュール製造時の品質保証ガイドラインの策定も必要である。

CPVは、高性能化、低コスト化の可能性を有し、結晶Siはさらなる低コスト化、薄膜系はさらなる高性能化、により拮抗しよう。このように、さらなる高性能化、低コスト化、長寿命化により、PVが全電力の10%を占める時代は、そう遠くなく到来しよう。

## 5. 開会式基調講演の概要

S. Baldwin (DOE) は、“Renewable Electricity Futures: How Much of Our Power Can Renewables Supply?” と題して、開会式基調講演を行った。2011年における米国電力に占める再生可能エネルギー (RE) の比率は12.7% (バイオマス: 1.4%、地熱: 0.4%、水力: 7.9%、太陽: 0.05%、風力: 2.9%) であり、2006年以来、太陽 (太陽集熱CSP、PV) と風力は、各々、年率29%、35%で成長している。しかし、バイオマス、水力、地熱は、資源に限界があり、太陽および風力は変動する。これらの要因が、経済界が必要とする電力供給の割合を制限する。RE導入の可能性を探るため、研究所、工業界、大学のチームが、再生可能電力と関連技術の評価した。2050年までに80%までの高レベル再生可能電力導入を評価するため、NRELのRegional Energy Deployment Systems (ReEDS) の容量拡張モデルおよびABBのGridView 製造コストモデルを用いた。時間レベルの米国グリッドをモデル化するため、詳細な地形およびシステムデータが取り込まれている。電力輸送、グリッドの柔軟性やREの資源を含む種々の場合が言及された。どうも現状のコストや変動要因が効いて、2050年の米国の電力に占めるPVの割合は5~7%と低い。あるケースでは、原子力7%、石炭10%に対して、PV7%、CSP13%、風力40%と試算されている。

今後の課題は、①comprehensive cost benefit analysis、②power system reliability、③development of market mechanism、④accelerating technology development、があるとまとめた。

## 6. 本会議のトピックス

プレーナリ講演を中心に、本会議のトピックスを紹介する。

### 6.1 基礎、新材料・デバイス分野:

(1) D.B. Mitzi (IBM) は、“High-Performance Photovoltaics from Earth-Abundant Thin-Film Absorbers” と題して、プレーナリ講演を行った。TW レベルのPV技術を実現するためには、低プロセスコスト (<\$0.50/watt) で高効率 (>10%) 太陽電池モジュール製造が必要である。直接遷移型カルコゲナイド材料 CdTe や Cu(In,Ga)Se<sub>2</sub> (CIGS) は、高効率で低コストの薄膜太陽電池として期待され、年産1GWの生産レベルにある。しかし、CdTe や CIGS は、高価で資源量に制約がある Te、In や Ga で構成されている。例えば、効率13%のCIGSセルでTW生産を行うには、4万トンのInが必要で、2010年のIn生産量が600トンで、ディスプレイ市場でのInの需要を考慮すると、年産10GW以下のCIGS生産と危惧される。Cdは、重金属で、将来、限られた市場のみに制限される危惧がある。CdTe や CIGS に代わる高効率が期待でき、豊富なカルコゲナイド薄膜太陽電池材料として、Cu<sub>2</sub>S、FeS<sub>2</sub> (pyrite)、SnS や Cu<sub>2</sub>ZnSn(S,Se)<sub>4</sub> (CZTSSe) などがある。本研究は、CZTSSeに着目したもので、効率10%以上のCZTSSe太陽電池実現に向けた取り組みを述べた。材料的には、1988年の伊東、中沢 (信州大) が早く、太陽電池としては、1996年の片桐ら (長岡工業高専) が先駆けである。IBMでも、構成材料組成の最適化 (Cu/(Zn+Sn) ≈ 0.9、Zn/Sn ≈ 1.2)、共蒸着600nm厚のCZTS吸収層を用い効率8.4% (Voc=661mV、Jsc=19.5mA/cm<sup>2</sup>、FF=65.8%、面積=0.446cm<sup>2</sup>) が得られていた。その後、

ナノ粒子とヒドラジン溶液のハイブリッド堆積法を開発し、バンドギャップ  $E_g$  制御のため、Se 導入を検討し、2010 年には、効率 9.7% ( $V_{oc}=516\text{mV}$ 、 $J_{sc}=28.6\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=65.4\%$ 、面積 $=0.44\text{cm}^2$ ) が得られた。2011 年には、図 7 に示すように、CZTSSe ( $E_g=1.15\text{eV}$ ) を用い、効率 10.1% ( $V_{oc}=517\text{mV}$ 、 $J_{sc}=30.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=63.7\%$ 、面積 $=0.45\text{cm}^2$ ) が得られている。一方、CZTS ( $E_g=1.04\text{eV}$ ) を用いても、同じ効率 10.1% ( $V_{oc}=423\text{mV}$ 、 $J_{sc}=38.7\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=61.9\%$ ) が得られている。CdS/CIGS セルとの特性の違いから、課題は、 $FF$  と  $V_{oc}$  であり、要因として、直列抵抗や界面障壁や CZTSSe 中の欠陥などが考えられる。少数キャリア寿命測定では、CZTSSe の 3.1ns に対して、CZTSe では 10ns である。CIGS では、 $V_{Cu}$  (0.03eV) の浅いアクセプター欠陥が効果的効いていたが、CZTSSe では、 $V_{Cu}$  よりも、 $Cu_{Zn}$  (0.12eV) の深いアクセプター欠陥が効いているようである。本年 3 月に、進展が見られ、 $MoS_x/Mo$  基板上的 CZTSSe ( $E_g=1.12\text{eV}$ ) を用い、効率 11.1% ( $V_{oc}=460\text{mV}$ 、 $J_{sc}=34.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=69.8\%$ 、面積 $=0.45\text{cm}^2$ ) が得られているとの事である。CdS に代わる  $In_2S_3$  などのバッファ層の検討も進めているとの事である。 $V_{oc}=520\text{mV}$  が得られれば、効率 12.5% は近いと結んだ。

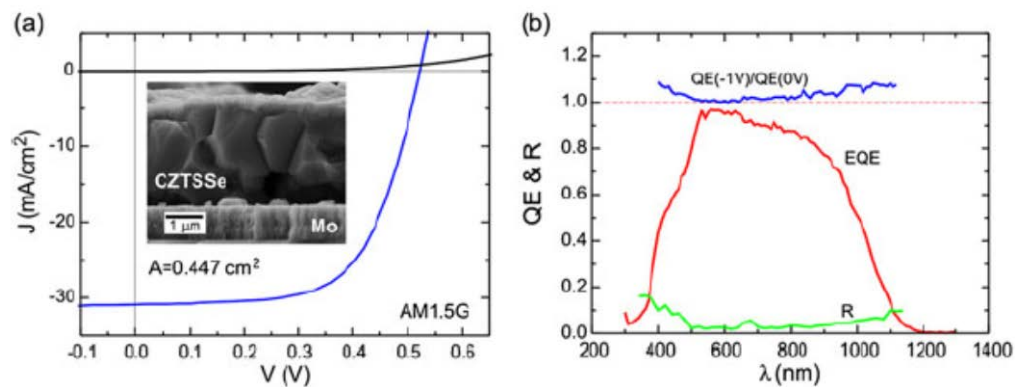


図 7 CZTSSe 太陽電池の電流-電圧特性、分光感度特性

(2) B. Bouzazira ら (豊田工大) は、” Analysis of Current Transport Mechanisms in GaAsN Homojunction Solar Cell Grown by Chemical Beam Epitaxy ” と題して、招待講演を行った。図 8 に示すように。昨年 6 月 1 日から開始された「集光型太陽光発電に関する日欧共同研究開発」の概要と、さらなる高効率化を狙いとした 4、5 接合太陽電池用新材料のアプローチについて述べた。

**EU-Japan Project “NGCPV”**  
A New Generation of Concentrator Photovoltaic Cells,  
Modules and Systems

**Aim of the Project “NGCPV”**  
*...to accelerate the move to very high efficiency and lower cost  
Concentrator Photovoltaic (CPV) technologies*



**Courtesy  
: Daido  
and BSQ,**

**M. Yamaguchi (TTI) & Y. Okada (Univ. Tokyo)**  
**A. Luque (UPM) & A. Bett (FhG-ISE)**



図 8 「集光型太陽光発電に関する日欧共同研究開発」の概要



本プロジェクトで、シャープが開発した InGaP/GaAs/InGaAs 3 接合太陽電池の集光特性が、FhG-ISE で測定され、図 9 に示すように、つい最近、240.7～306.3 倍集光下で 43.5%の世界最高効率が実現している。シャープは、昨年、InGaP/GaAs/InGaAs 3 接合太陽電池で 36.9%と、図 10 に示すように、非集光動作下での世界最高効率を達成しているが、今回、電極設計等、直列抵抗および光損失の低減をはかって、集光化でも世界最高効率を達成したものである。図 10 は、各種太陽電池の高効率化の推移を示す。

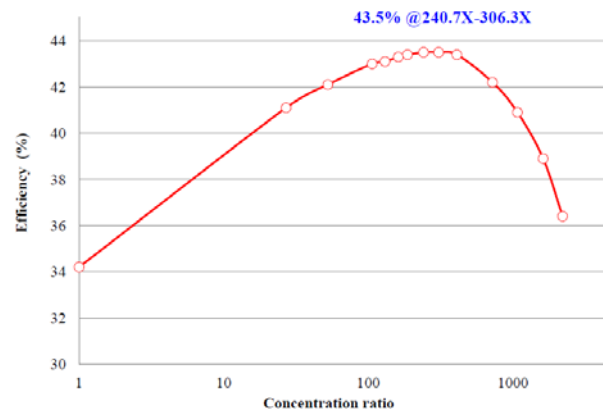


図 9 シャープ開発 InGaP/GaAs/InGaAs 3 接合セルの集光特性 (FhG-ISE で測定)

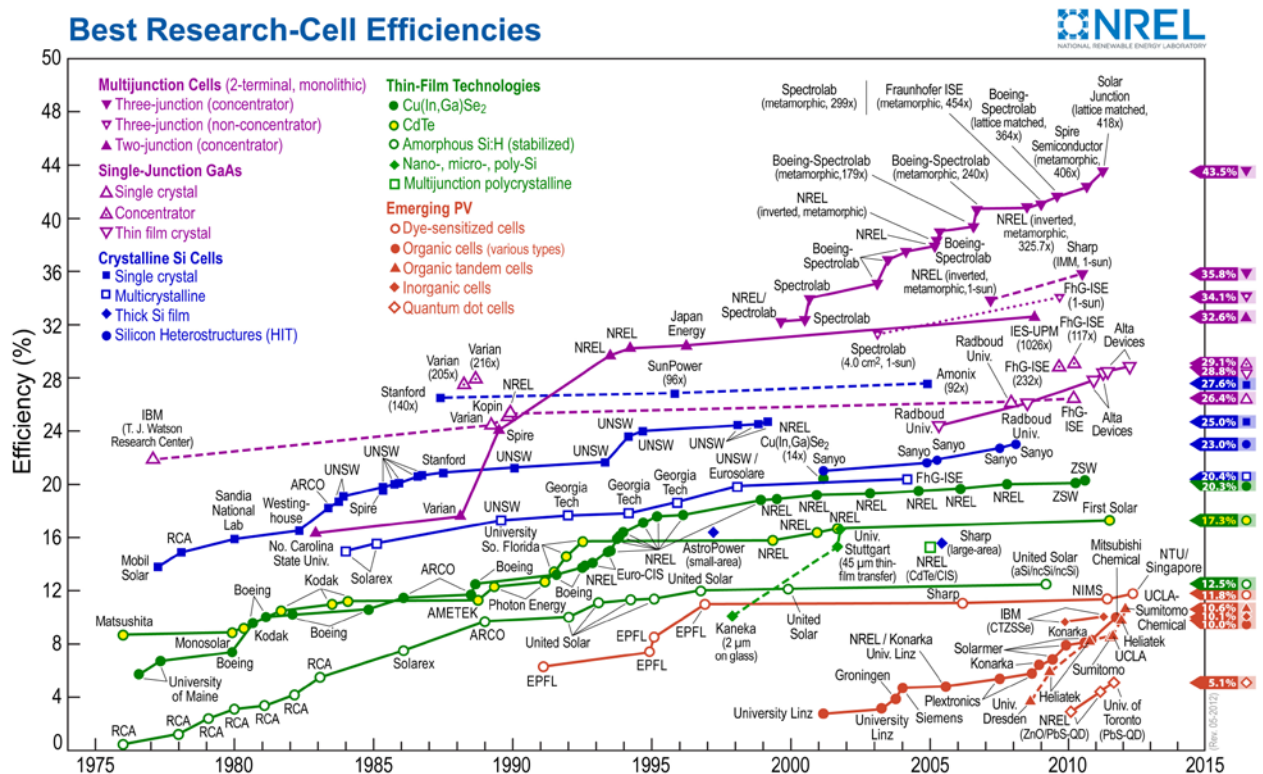


図 10 各種太陽電池の高効率化の推移

## 6.2 CIGS、II—VI化合物薄膜セル分野：

CdTe や CIGS 系の化合物薄膜セルは、アモルファス Si および微結晶 Si 薄膜セルと共に、低コストの薄膜太陽電池として期待されている。これらの材料は、真空蒸着やスパッタ法などで、わりと

簡単に作製でき、多結晶薄膜でありながら、多結晶粒界が少数キャリアのキラーにはなっていないかったり、不活性化されていたりして、結晶粒径  $1\mu\text{m}$  でも高効率が期待できる。

(1) B. Dimmler (Manz AG) は、”CIGS and CdTe Based Thin-Film PV Modules: An Industrial Revolution”と題して、プレーナリ講演を行った。薄膜太陽電池の出荷量は、2009 年の 1,342MW (全太陽電池出荷量に対する比率 17%) から 2011 年の 3,204MW (14%) と伸びており、今後数年の薄膜太陽電池の生産規模は、図 1 1 のように予想されている。

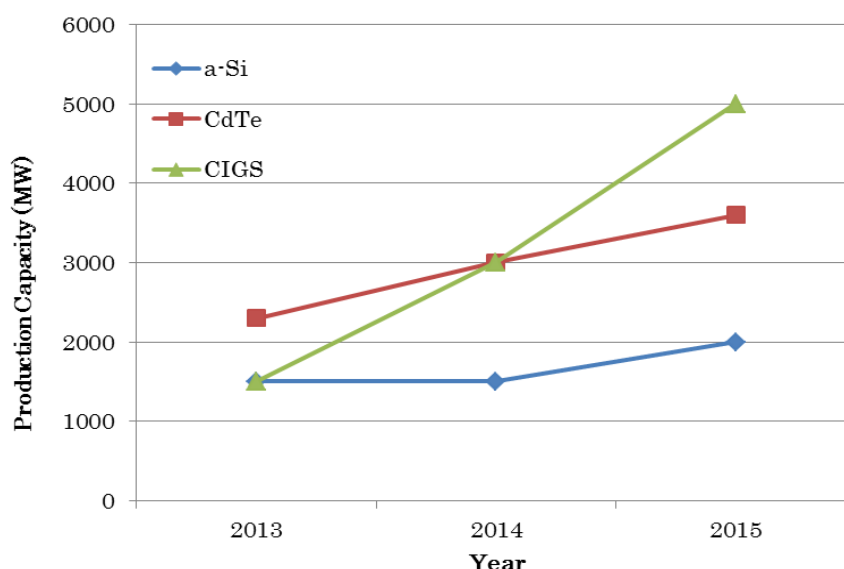


図 1 1 薄膜太陽電池の生産規模の予測

効率面では、小面積セルで、a-Si/ $\mu\text{c-Si}$  タンデムの 16.3% (UniSolar)、CdTe の 17.3% (First Solar)、CIGS の 20.3% (ZSW) である。2020 年、2040 年に、a-Si 系で、各々、18%、20%、CdTe で、18%、20%、CIGS で、各々、22%、24%になるだろうと予想している。CIGS フレキシブルセルでは、EMPA が、ポリイミド、スチール基板上で、各々、効率 18.7%、17.7%を得ている。CIGS 太陽電池モジュールについては、ソーラーフロンティアは、30cmx30cm のサブモジュールで効率 17.8%、Solibro は、63cmx119cm のフルサイズで効率 14.6%を実現している。各社の CIGS および CdTe 太陽電池モジュールの効率と生産規模をまとめて、表 3 に示す。

表 3 各社の CIGS および CdTe 太陽電池モジュールの効率と生産規模

|      | Company        | Champion Eff. (%) | Next Stage Eff. (%) | Production Capacity (MW) | Next Stage Capacity (MW) |
|------|----------------|-------------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|
| CIGS | Solar Frontier | 14.6              | 15.5                | 980                      |                          |
|      | Avancis        | 13.4              |                     | 30                       | +100                     |
|      | Hyundai        |                   |                     | 100                      |                          |
|      | Manz           | 15.1              | 15.9                | 30                       | +120                     |
| CdTe | Solibro        | 14.4              | 16                  |                          |                          |
|      | First Solar    | 14.4              |                     | 2700                     |                          |
|      | Primestar      | 12.8              |                     | 30                       | +400                     |



現実的なモジュール効率は、2012年、2015年、2020年、2025年には、CIGS系で、それぞれ、13%、14~15%、15~16%、16~17%、CdTe系で、それぞれ、12.5%、13%、13.5%、14~15%であろうと予測している。

Manz の状況が紹介された。1975年から、シュツツガルト大学で、CIGS系太陽電池の研究開発が進められ、Würtl Solar、ZSWを経てManzに至っている。150MWの生産規模で、現状のモジュール効率13%から、2015年の16%、2018年の16.7%を目指している。製造コスト分析もなされ、200MW以上の生産規模で、2012年0.74ユーロ/Wから、2013年、2015年、2018年には、それぞれ、0.5、0.435、0.4ユーロ/Wにしたいとしている。製造コスト0.5ユーロ/Wの内訳は、材料費0.25、堆積費0.14、労務費0.03、その他0.08ユーロ/Wとなっている。今後の課題として、生産規模拡大、モジュール効率向上(>15%)、Yield向上(>98%)、生産コスト低減、リサイクル(In)等であるとしている。研究面の課題として、①光吸収層のEg制御、②欠陥低減、③界面再結合損失の低減、④有効面積の拡大、⑤IR損失の低減、などがある。

### 6.3 III—V族化合物セルおよび集光型太陽電池、モジュール分野：

最近、多くの企業が、III-Vベースの集光太陽光発電(CPV)システムの商用化を開始している。その主な理由として、次の点があげられる。

①III-V族セルを用いた集光型太陽電池は40%以上の高効率化を実現しており、近い将来、40%以上の高効率モジュールの実現が可能で、非常に効率の良いCPVシステムを提供できる。②PV応用がサイズの上でも成長しており、より大規模なシステムの実現が要望され、CPVシステムが適している。③コスト的にも有効な代替PV技術への関心をもたらしめていること。

(1) A. Gombert (Soitec Solar) ” Low-Cost Reliable High-Concentrating Photovoltaics: A Reality” と題して、プレーナリ講演を行った。Soitecは、2005年にFhG-ISEからスピンオフして設立したConcentrxが前身で、2009年に、Soitec Solarとなる。従業員1,300名。ドイツ・フライブルグには、200名で、年産70MW、2013年には、米国・サンディエゴに、年産280MWが稼働の計画で、他に、フランス、シンガポールにも拠点があるとの事である。2011年のCPV市場は、125MWだが、CPV Consortiumによれば、2012年、2013年、2014年、2015年に、それぞれ、515MW、850MW、1250MW、1500MWになると予測されている。CPVシステムは、2500kWh/m<sup>2</sup>/yr以上の日射条件の良い地域では、他のPV技術よりも電力コスト低減が可能で、8.5セント/kWh以下が期待できる。エネルギーペイバックタイムについても、他のPV技術に比べて有利であり、1年以下の実現が可能である。

III-V族多接合太陽電池を用いた高倍集光システムにおけるCPVモジュールコストについては、①モジュールの自動アセンブリ、②モジュールの大型化、③低コスト材料の使用、④標準インバータの使用、⑤簡易設置工法、などによって、低減をはかっている。CPVモジュール生産の自動化が進み、CPVモジュール、システムの大型化が可能となっている。CX-S410(8.5kWシステム)から、CX-S420(16kWシステム)、CX-S530(28.1kWシステム)に大型化が進み、コストも、CX-S410を1(モジュールコスト54%、追尾系30.6%、システム系15.4%)とすると、CX-S42は0.866(モジュールコスト54%、追尾系18.3%、システム系14.3%)、CX-S530は0.66(モジュールコスト33.3%、追尾系18.3%、システム系14.3%)と、低コスト化が実現している。信頼性については、①製造ユティリティ設計(平面設計、標準装置、

既知プロセス、方法論）、②劣化モード、③統計的プロセス制御、④加速試験、⑤実証試験における劣化事象、等が検討されている。モジュールの劣化モードとして、SOGレンズ（Silicone-on-Glass）、封止などがある。一例として、SOGレンズのUVテスト、150℃で1,000時間の熱安定試験（1-sunで、10万年に相当）が実施され、安定性を確認している。モジュールの各種試験（IEC62108試験、IEC62688試験、高温放置試験；125℃、熱衝撃試験、高温高湿試験；95%RH+95℃）、引っ張り・曲げ試験、衝撃試験、塩水散布試験、なども実施されている。例えば、高温高湿試験（85℃+80RH）では、モジュールのI-V特性の劣化はほとんどない。ISOFOCでのCPVシステム（100m<sup>2</sup>）の実証試験では、インバーターや追尾系の故障、メインスイッチのオーバーヒートが、各々2件あったものの、4年間ほとんど劣化なしという事である。モジュール効率も、2008年時の23～24%から、約26%に効率向上がなされている。CPVシステムは、大規模太陽光発電システムなどとして、広範囲に実用されようと結んだ。

（2）荒木ら（大同特殊鋼）は、“Design and Development of 35% Efficient and 1000x CPV Module with Sufficient Optical Alignment Tolerance”と題して、集光型太陽光発電に関する日欧共同研究開発の下で行われている大同特殊鋼、宮崎大、UPM、BSQ Solarによる共同研究開発の成果が述べられた。2003年には、III-V族3接合太陽電池を用いた400倍の効率28%の研究段階のCPVモジュールを開発し、2011年には、1100倍の平均効率28%の製造レベルのCPVモジュールを開発した。本CPVモジュールには、ドーム型フレネルレンズと二次光学レンズが用いられ、入射光強度分布の一様性向上と許容角の拡大をはかっている。820倍の10kWのCPVシステムの許容角は、 $\pm 0.92^\circ$ である。今回の発表では、許容角のさらなる拡大をはかった結果が報告された。図12は、集光光学系の集光倍率－実効許容角に関する典型的技術、大同特殊鋼の現行技術および本研究開発のターゲットを示す。

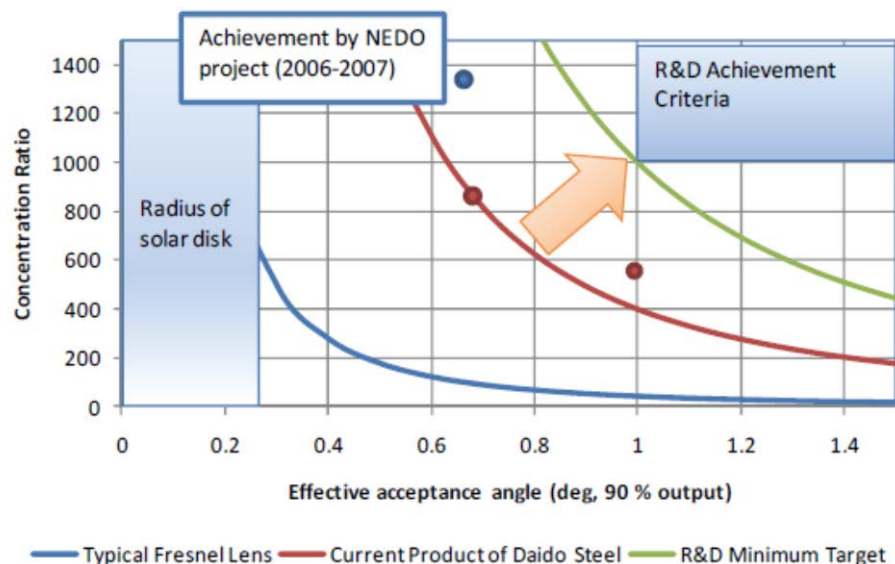


図12 集光光学系の集光倍率－実効許容角に関する典型的技術、大同特殊鋼の現行技術および本研究開発のターゲット

今回、UPMのDFK光学系（LPI Kohler光学技術）と大同特殊鋼のモジュール、システム技

術を用い、 $\pm 1.1^\circ$ 以上の許容角を実現し、幾何学効率841倍の1050mmx1050mmのCPVモジュールで、効率35%、出力385W（112V）を実現している。重量は、18kg（0.05kg/W）と軽量である。光学レンズは、174mmx174mmで、CPVセルは、6mmx6mmである。追尾誤差が軽減されている。シミュレーションの結果、今後の改良により、1250倍集光でも、 $\pm 1^\circ$ 以上の許容角の実現が可能で、現地でのアライメント調整を容易にできる。

CPVセルおよびモジュールの信頼性検討もなされている。図13は、1000倍集光CPVセルの熱サイクル試験下での劣化率を示す。50%の劣化率時は、4200サイクルであり、寿命70年に相当する。400Wの超高効率集光型モジュールを実用化するという強いメッセージが述べられた。

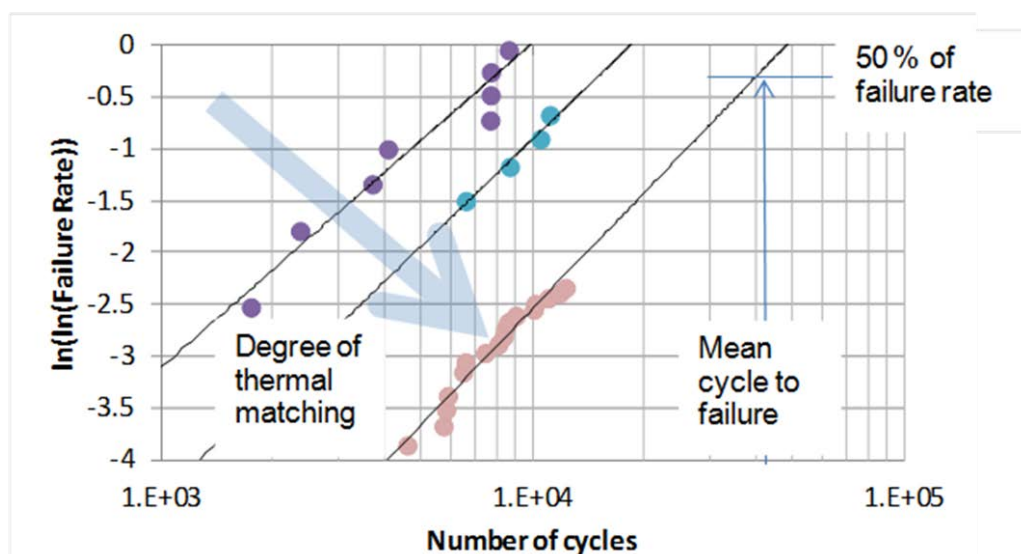


図13 1000倍集光CPVセルの熱サイクル試験下での劣化率

#### 6.4 結晶Si太陽電池分野：

(1) E. R. Weber (Fraunhofer ISE) は、“The Future of Crystalline Silicon Photovoltaic Technology”と題して、プレーナリ講演を行った。現状の太陽電池生産の85%は、結晶Siである。低炭素社会の実現に、太陽光発電が重要で、今後も、主要は結晶Siであろう。ポリシリコン生産は、年産12万tだが、価格は\$50/kgで、年産1000tのポリシリコン製造プラントには、\$100Mが必要である。ポリシリコンの製造コスト低減には、金属級(MG)-Siの活用が必要だが、純度は99.5%以下である。アップグレードMG(UMG)-Siの研究開発を進めている。純度99%材料から出発し、ガス反応によるB、P低減で純度99.8%以下、スラグ処理や不純物偏析を活用し、ppmオーダーを実現している。低品位Si上のエピセルなどが検討され、CaliSolarで、15cmx15cmセルで、平均効率16.6%（ベスト17.7%）を得ている。Q-cellsでは、バックコンタクトセルが作製され、効率18.2%との事である。Defect engineeringが重要であるとまとめた。

(2) D. Songら (Yingi Green Energy) は、“Progress in n-type Si Solar Cells and Module for High Efficiency and Low Cost”と題して、招待講演を行った。n型基板の導入も増えている。図14には、ITRPVロードマップにおける結晶Si太陽電池製造に占めるn型基板の比率

予測を示す。研究段階では、SunPowerが、158.9cm<sup>2</sup>のn-SiのIBCセルで、効率24.2%（Voc=721mV、Jsc=40.46mA/cm<sup>2</sup>、FF=82.3%）、UNSWは、FZ n-Siの22cm<sup>2</sup>、PERTセルで、効率22.7%（Voc=745mV、Jsc=38.38mA/cm<sup>2</sup>、FF=80.9%）、FhG-ISEでは、FZ n-Siの4cm<sup>2</sup>、PERLセルで、効率23.9%（Voc=705mV、Jsc=41.18mA/cm<sup>2</sup>、FF=82.5%）を実現している。ヘテロ接合型も最近の傾向である。三洋電機は、HIT太陽電池で、モジュール効率20.6%の状態で、98μm厚の10cmx10cmセルで効率23.7%（Voc=745mV、Jsc=38.38mA/cm<sup>2</sup>、FF=80.9%）を達成している。

YingiのPandaセルの状況が報告された。2010年3月に、300MWプロジェクトを開始し、2012年3月段階で、平均効率18.5%（最高20%）の600MWのパイロット生産ラインができています。N型CZ-Siを用いたbifacialセルで、構造は、Ag/Al表面電極/反射防止膜/表面パッシベーション/テクスチャー構造/p<sup>+</sup>（B拡散）層/n型層/n<sup>+</sup>（P拡散）層/SiNx層/Ag裏面電極からなる。6インチウエハの239cm<sup>2</sup>セルで、平均効率18.5%を実現し、2年以内に、平均効率20.2%を目指すとの事である。低コストの可能性があり、ダブルガラスパネルが作製されている。光劣化も、p型ベースで1.4%劣化があるのに対し、Pandaのn型セルは、ほとんど光劣化がない。Pmaxの温度係数も、p型の-0.45%/℃に対して、Pandaでは、-0.42%/℃と良い。また、低照度での特性が良いとの事である。多結晶Siへの適用は、拡散の難しさなどがあり、現状では、難しいという質疑があった。

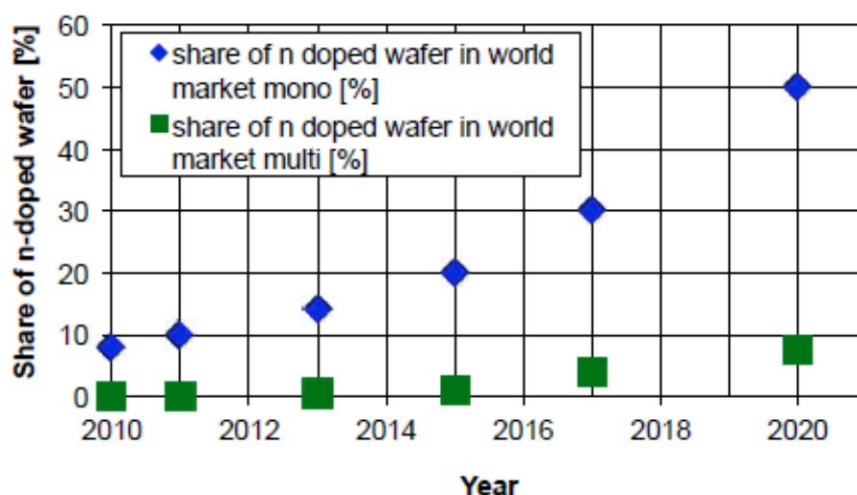


図1-4 ITRPVロードマップにおける結晶Si太陽電池製造に占めるn型基板の比率予測

（3）C. BalifEPFL” a-Si:H/μc-S Heterojunctions: A Future Mainstream Technology for High-Efficiency Crystalline Si Solar Cells?”と題して、ヘテロ接合結晶Si太陽電池に関して、講演を行った。図1-5に示すように、ヘテロ接合太陽電池は、a-Siによる優れたパッシベーション、薄型化に適した200℃程度の低温プロセス、単純構造・単純プロセスの特徴を有する。しかし、PanasonicのHITセルの効率23.7%に対して、RRSは21.2%、EPFLは21%で、マジックである。ドイツのROTH&RAUと共同開発を行っている。図1-6に示すように、a-S成膜には、PECVD装置として、VHF（40.68MHz）のKAI-M-PECVD装置と13MHzのOCTOPUS-PECVD装置を用いている。ヘテロ接合太陽電池の高効率化のキー技術は、ヘテロ接合、TCOである。ヘテロ接合の基礎的理解が重要で、界面再結合に注力し、過剰キャリア密度と実効キャリア寿命、界面準位と内蔵電荷、ITO(TCO)の光吸収等を検討した。表面、裏面TCOと

裏面Ag電極は、DCスパッタにより、表面Ag電極は、スクリーン印刷により形成した。テクスチャーn型FZ基板（ $4\ \Omega\ \text{cm}$ 、 $240\ \mu\text{m}$ 厚）、n型CZ基板（ $4\ \Omega\ \text{cm}$ 、 $100\ \mu\text{m}$ 厚）を用いた。

n型FZの $2\text{cm}\times 2\text{cm}$ セルでは、図16に示すように、VHF-PECVDで効率21%、13MHz-PECVDで効率20.4%が得られている。その後、改善委より、n型FZの $2\text{cm}\times 2\text{cm}$ セルでは、効率21.86%（ $V_{oc}=726\text{mV}$ 、 $J_{sc}=37.8\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=79.7\%$ ）、n型FZの $100\text{cm}^2$ セルでは、効率20.5%（ $V_{oc}=729\text{mV}$ 、 $J_{sc}=36.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=77.2\%$ ）、が得られている。ROTH&RAUでは、n型CZの $2\text{cm}\times 2\text{cm}$ セルでは、効率21.9%（ $V_{oc}=735\text{mV}$ 、 $J_{sc}=38.5\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=77.8\%$ ）、n型FZの $15.6\text{cm}\times 15.6\text{cm}$ セルでは、効率20%（ $V_{oc}=719\text{mV}$ 、 $J_{sc}=36\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=77.2\%$ ）、n型CZの $238.5\text{cm}^2$ セルでは、効率19.65%（ $V_{oc}=722.8\text{mV}$ 、 $J_{sc}=35.48\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=76.7\%$ ）、n型CZの $596\text{cm}^2$ セルでは、効率19.3%（ $V_{oc}=728\text{mV}$ 、 $J_{sc}=36\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=73.8\%$ ）、の状況である。

## Heterojunction crystalline solar cells

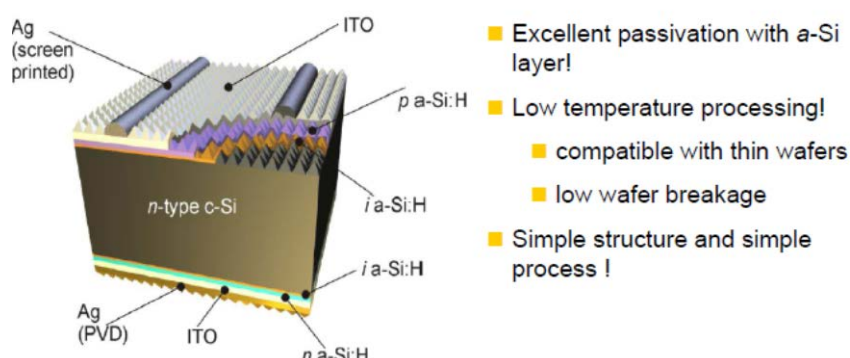
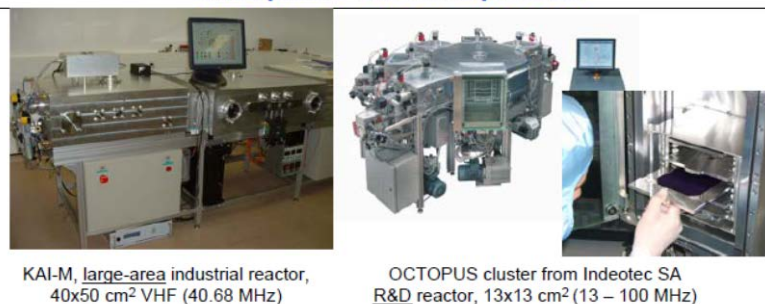


図15 ヘテロ接合結晶Si太陽電池の構造と特徴

## PECVD reactors for HJT cells at PV-LAB Neuchâtel Amorphous silicon deposition



|      |                                |       |
|------|--------------------------------|-------|
| 725  | $V_{oc}$ [mV]                  | 714   |
| 37.3 | $J_{sc}$ [mA/cm <sup>2</sup> ] | 36.5  |
| 77.8 | FF [%]                         | 78.2  |
| 21 % | Efficiency                     | 20.4% |

図16 PECVD装置とEPFLでのヘテロ接合結晶Si太陽電池特性の結果

### 6.5 アモルファス、ナノ／マイクロ結晶薄膜Si太陽電池分野：

(1) C. Balif (EPFL) は、“New Approaches for Very High Efficiency a-Si/ $\mu$ c-Si Solar Cells”と題して、プレーナリ講演を行った。a-Si/ $\mu$ c-Si 太陽電池の最近の成果が述べられた。薄膜Siは、カラー、形状の柔軟性の点で有利で、ニッチ市場に適している。大量生産により、モジュールコストも0.33~0.4ユーロ/Wを予想している。VHFはNeuchatel大の提



案で、低周波のp-CVDより、イオン損傷が少なく、有利である。光トラッピングに関しては、Asahi U より、LP-CVD ZnOが量子効率改善に優れている。マイクロモルフォタンデム (a-Si/ $\mu$ c-Si) は、1994年のWCPEC-1で、Meierが提案した。Interlayerコンタクト、バリアとして、doped酸化膜層が用いられている。堆積中の水素分圧の制御により、SiO<sub>x</sub>の導電率を制御ができる。表面テクスチャーとlight trappingへの効果が述べられ、結果として、量子効率の向上、収集電流の増加が実現している。ZnOの寄生吸収も減少し、light trappingが改善されている。

a-Siで効率10%、2 接合タンデムで安定化効率12%の状況で、UniSolarが3 接合タンデムで初期効率16.3% (図 1 7) を達成している。

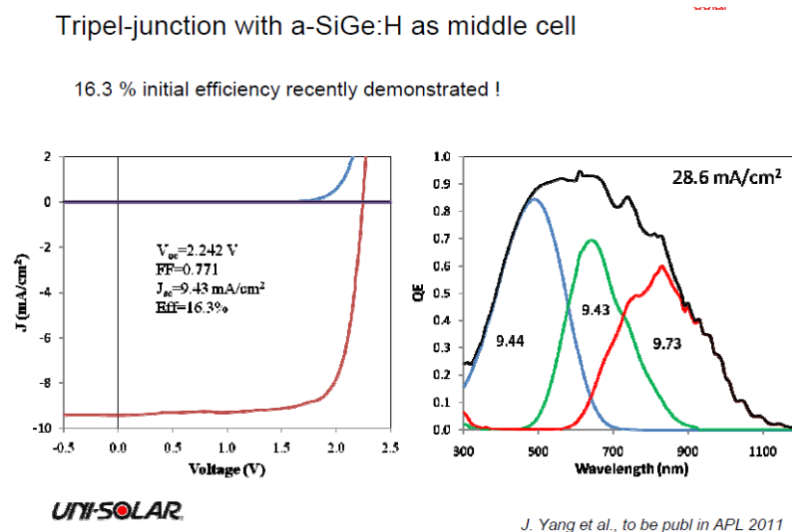


図 1 7 UniSolarによる3 接合薄膜SiタンデムセルのI-V特性と分光感度特性

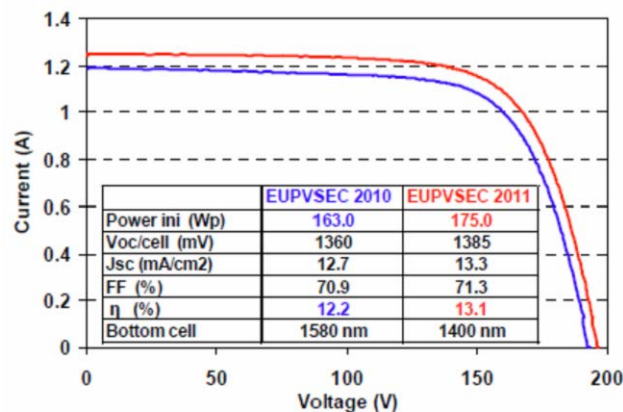


図 1 8 1.4cm<sup>2</sup>のa-Si:H/ $\mu$ c-S:HタンデムセルモジュールのI-V特性

Oerlikon Solarの1.7eV/1.1eVのa-Si:H/ $\mu$ c-S:Hタンデムセルの状況も報告された。①R&D用KAI-Mシステムの最適化により、薄膜Si堆積の改善をはかった。②LPCVD-ZnOのTCOのlight trappingにより、安定化効率の改善につながるa-Si層厚の低減をはかった。③中間反射層として、ドーブした $\mu$ c-SiO<sub>x</sub>中間層を導入した。④テクスチャーLPCVD-ZnOを表面および裏面TCOに用いた。⑤Corningと共同で、新しいテクスチャーガラス基板を開発した。裏面反射層で、テクスチャー基板により、収集効率が改善され、a-Si:H/ $\mu$ c-S:Hタンデムセルの



小面積セル ( $1.04\text{cm}^2$ ) で、初期効率13.9%、安定化効率12.24%が得られている。KAI-1200の $1.4\text{m}^2$ PECVD装置を用いて、 $1.4\text{m}^2$ のa-Si、タンデムセルのR&Dモジュールで、各々、9.7%、12.2% (真性効率13.1%) の安定化効率を得ている。図18は、 $1.4\text{cm}^2$ のa-Si:H/ $\mu\text{c-S:H}$ タンデムセルモジュールのI-V特性を示す。9.7%、12.2%は、各々、139.1W、166.6Wモジュールに相当し、174Wモジュールを実現するために、効率13.1%を目指す。

課題は、モジュールの安定化効率15%以上、CVDコスト低減、スループット、yield、a-Siの光劣化抑制、などである。

## 6.6 有機太陽電池分野：

M. Pfeiffer (Heliatek) は、“Efficient-Organic Vacuum-Deposited Tandem Solar Cells and Nodules on Glass and PET” と題して、プレーナリ講演を行った。Konarka社が撤退する中、種々の機関が参入している印象である。Heliatekも2006年に設立された。有機太陽電池は、低分子リゴマー、ポリマーの狭い吸収波長領域、低移動度、低拡散長により低効率であり、タンデム化のアプローチが有効である。真空堆積は、溶媒不要、タンデムセル作製可能 (界面劣化少ない)、大面積製造可能、コスト低減の可能性、があると強調した。タンデム化のための材料のアプローチが紹介された。Conjugated A-D-A オリゴマー、DCV6T (光学ギャップ $E_g=1.55\text{eV}$ 、 $V_{oc}=0.87\text{V}$ ) やHDR014 ( $E_g=1.77\text{eV}$ 、 $V_{oc}=1.04\text{V}$ )、ZnPc ( $E_g=1.46\text{eV}$ 、 $V_{oc}=0.6\text{V}$ ) などである。ガラス基板上のこれらのp-in-構造による $1\text{cm}^2$ タンデムセルで、効率10.7% ( $V_{oc}=1.71\text{V}$ 、 $J_{sc}=9.23\text{mA}/\text{cm}^2$ 、 $FF=67.8\%$ ) が得られている。温度 $55^\circ\text{C}$ 位までは、温度上昇と共に、効率が上がるとの事である。PET上のタンデムセルは、8.5%の状況である。図19は、Heliatekにおける有機太陽電池の効率向上の変遷と目標を示す。2015年までに、効率15%を達成したいとの事である。 $142\text{cm}^2$ のサブモジュールでは、効率7.7%である。信頼性も検討されている。9.5%セルの $85^\circ\text{C}$  1,000時間試験で、劣化5%以内、8.3%セルの $85^\circ\text{C}$  6,000時間試験で、劣化10%以内である。30cm幅のPET基板上のRoll-to-Roll装置も立ち上げつつある。最終的には、0.3~2m幅、0.5~2.5km長を目指すとの事である。2017年時の製造コスト目標は、40セント/W以下で、市場として、色調、半透明性や柔軟性を生かした携帯機器、ビル、自動車応用などを考えている。

有機太陽電池を実用技術にするのは、セル効率15%以上、モジュール効率12%以上が必要であろう。信頼性は大きな課題で、現在は、封止技術に頼っている現状である。

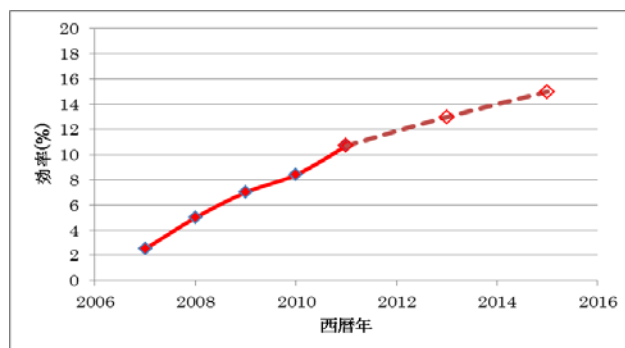


図19 Heliatekにおける有機太陽電池の効率向上の変遷と目標

## 6.7 宇宙用太陽電池およびシステム分野：

C. Taylor (NASA本部) は、“NASA Space Technology Program Plans for Advanced Space Power” と題して、プレーナリ講演を行った。NASAの現在のPVに関する大きな関心は、Game Changing Development Programである。National Research Councilも、太陽光発電を米国の三番目のプラオリティリストにあげている。一例として、Hallスラスターを用いた電気推進には、大面積の太陽電池アレイが必須である。2018年打ち上げ予定の30kWシステム (PV150m<sup>2</sup>) は目途が立っているが、2024年打ち上げ予定の300kWシステム (1,500m<sup>2</sup>) は、全く目途が立っていない。①高重量比電力 (>200W/kg)、②高充填密度、③高放射線耐性、④高電圧動作、などが要求される。30kWから300kWに発展させるために、Solar Array Structure (SAS) Projectを本年4月26日にリリースした。フェーズ1は、18カ月の開発、フェーズ2は、軌道実証である。開発テーマは、①集積モジュール/ブラケットアセンブリ、②高フレキシブルブラケット、③deep Space環境で使用可能なセルインターコネクトカバーガラス、④高電圧電子部品、である。まだ、提案段階だが、PV Cost Development Projectもある。狙いは、①先端太陽電池製造、②高歩留り、高信頼性セル技術、③先端セル/ブラケット集積、④モジュール設計、集光アレイ、等の開発にある。太陽電池アレイのコスト低減のアプローチとして、①効率向上による\$/Wの低減、②自動化/製造技術向上による50%コスト削減、③集光技術による太陽電池使用量の削減、がある。

要約すると、①deployability、②affordability、③power densityが重要だとまとめた。

## 6.8 キャラクターゼーション：

K. A. Emery (NREL) は、“Calibration and Rating of Photovoltaics” と題して、プレーナリ講演を行った。太陽電池、モジュールの特性評価、標準太陽電池による較正、認証機関によるクロスチェックなどの手法が紹介された。平板PVは、IEC-60904-1に準拠し、集光PVは、IEC62270-1+ASTME2527に準拠し、特性測定を行う。地上用セル、モジュール特性は、PTB、AIST、JRC、NRELの認証機関でクロスチェックを行っているが、結晶Siセルでも、±4%の誤差がある。±2%に改善するには、標準セルやシミュレータの改良が必要である。標準セルも、不安定なセルは排除する必要があるし、結晶Siやa-Siセルでは、光劣化を、CdTeやCIGSセルでは、電圧印加履歴、を考慮する必要がある。パッケージングも重要である。特に、有機やCPVセルでは、セル面積の規定が重要で、マスクやエッチオフが要求される。また、二次較正も重要で、NREL、FhG-ISE、AIST間で行っている。標準太陽電池のI<sub>sc</sub>は、国際的に、±1%以内におさまっている。信頼性は、重要で、多面的に評価する必要がある。

## 6.9 モジュール・システム分野：

A. Golnas (SunEdison) は、“PV System Reliability: An Operator's Perspective” と題して、プレーナリ講演を行った。同社は、三年間で、750プラント、750MW以上のPVシステム実証の経験を有する。PVは、結晶Si、a-Si、CdTeが主で、屋根置きかグラウンド設置である。PVの信頼性は、コストに関わる。同社の27プラント、17MWのPVシステムでは、\$0.1/kWhを実現している。450のPVシステムの2010年1月～2012年3月にわたる27カ月のサービスでの故障割合は、インバータが43%と多く、交流サブシステム14%、外部サブシステ

ム（インターコネクション、グリッド）12%も多く、PVモジュールは、2%と少ない。5メーカーで、故障が10倍も違うし、年と共に、故障増えるケース、減るケースもメーカーによる。インバーターの故障のメインは、制御ソフト28%、カード/PCボード13%、交流接続部12%、などであり、インバーター故障は、スイッチ制御に関係している。PVモジュール部品としては、表面ガラス42%、セル12%、ブラケット部8%、コネクター部7%、ジャンクション箱6%、その他7%、の順である。PVシステムオペレーターは、信頼性を管理し、装置供給者は、品質向上、保証を求められる。PVシステム設計、装置の標準化が必要である。

今後、①継続的改良、②自動車との関係（プラグイン）など、③電気系統、④無線通信、⑤蓄電制御系、⑥集積部品、⑦標準化、などが重要とまとめた。

#### 6.10 市場および政策分野：

（1）D. Pamillo（Dow Solar, The Dow Chemical Company）”The Dow Powerhouse™ Solar Shingle Launch - Investment & Technology Decisions; Processes for a New Product”と題して、プレーナリ講演を行った。Dow Chemicalの化学、ブランド、注目度を活かしたビジネスとして、DOW POWERHOUSE™プロジェクトを、2007年に開始した。2007年3月には、DOEから2,000億ドルの助成を得た。米国における住宅屋根用PVには、品質、durability、versatility、コストが要求される。フレキシブル等設置が容易であることも必要であり、DOW POWERHOUSE™によるSolar Communityを形成したい。PVパワーデバイスとして、Global SolarのCIGSセル（効率13%）、Alta DevicesのGaAs薄膜セル（効率28%）を対象としている。PVモジュール価格は、結晶Si、CIGS、各々、\$1.57/W、\$1.0/Wだが、NuroSunは、12%セルで、\$0.23/Wが可能としている。Dowのベンチャーキャピタルを通じて、15～20億ドルを投資して、Alta、NuroSunと共同開発を進めるとの事である。技術のスケールアップ、信頼性を十分に検討して、20年以上のライフの製品を開発したい。それに向けて、品質保証、マルチストレス信頼性試験、寿命予測、フィールド試験を行う計画である。

（2）小間（NEDO）は、”Overview of Japanese PV Programs”と題して、日本の太陽光発電プログラムについて招待講演を行った。NEDOの概要の説明に後、図20～図22に示すように、現行の「太陽光発電次世代高性能技術開発」、「革新的太陽電池技術研究開発」、「色素増感および有機太陽電池の実用化加速技術開発」の3つのプロジェクトの概要が報告された。また、NEDOのPV技術開発の成功事例として、シャープの世界最高効率36.9%のInGaP/GaAs/InGaAs 3接合太陽電池、ソーラーフロンティアのCIS世界最大製造（900MW）工場の完成、シャープの高効率（11.0%）色素増感太陽電池が紹介された。

## High Performance PV Generation System for the Future (Target : 2020)



### Background

- the Japanese Government's Target : 28GW total PV installations by 2020 (increasing twentyfold from 2005 levels)

### Targets

- 14 yen/kWh (Year of 2020)
- Module production cost : 75 yen/W
- Module conversion efficiency : 20% for wafer-based Si (between Year of 2015 - 2020)

### Period and Budget

- FY2010 - 2014 (5 years)
- 5.98 billion yen (FY2012)

## High Performance PV Generation System for the Future (Target : 2020)



### Project Structure

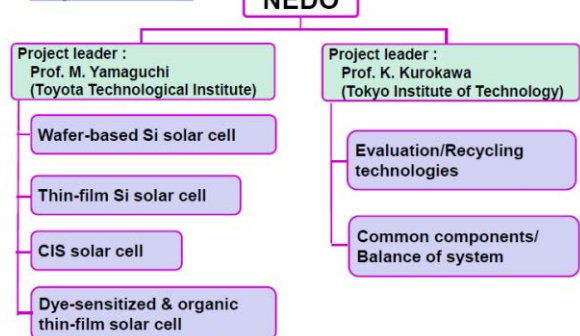


図 2 0 NEDO「太陽光発電次世代高性能技術開発」プロジェクトの概要

## R&D on Innovative Solar Cells

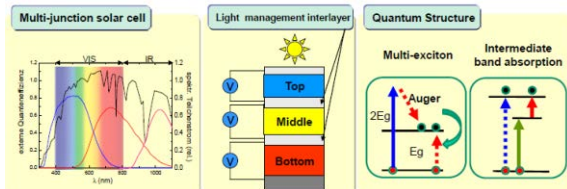


### Target

- Realizing Super High Efficiency PV Technologies over 40% efficiency in 2050

### Period and Budget

- FY2008 - 2014 (7 years)
- 2.36 billion yen (FY2012)



## R&D on Innovative Solar Cells



### Project Structure

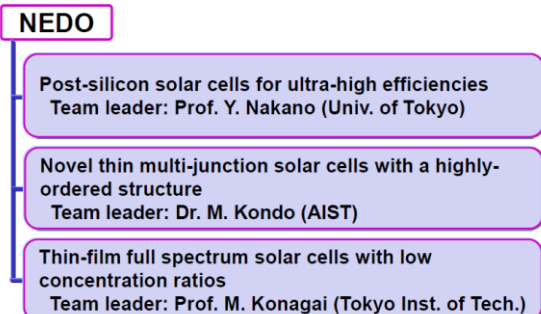


図 2 1 NEDO「革新的太陽電池技術研究開発」プロジェクトの概要

## R&D for Commercial viability of Dye-sensitized and Organic Solar Cells



### Target

- Business solution from a practical application standpoint
- Find new market opportunity

### Period and Budget

- FY2012 - 2014 (3 years)
- 1.97 billion yen (FY2012)

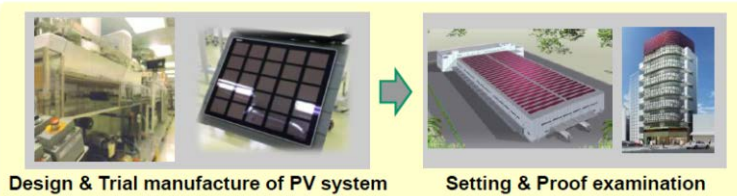


図 2 2 NEDO「色素増感および有機太陽電池の実用化加速技術開発」プロジェクトの概要

(3) M. Le (DOE) は、”SunShot Initiative”と題して、米国DOEの太陽エネルギー技術プログラムについて招待講演を行った。SunShotプログラムがスタートし、図 2 3 に示すように、2010年のシステムコスト\$3.8/Wから、2016年の\$2.2/W、さらに2020年の\$1/Wを目指すとしている。これは、5~6セント/kWhに等価である。従って、モジュールコスト

も\$0.5/Wの達成を目指す。図24は、モジュールコスト\$0.5/W、システムコスト\$1/W実現のための施策を示す。モジュールコスト\$0.5/Wの達成のためには、理論効率に近い変換効率の高い太陽電池の開発、セル製造コストの低減、30年以上も特性維持する長寿命が要求される。図25には、種々の太陽電池技術に関して、現行の製造モジュールの効率、研究室レベルのセル効率、理論効率を示す。図26には、コストターゲット達成のための研究開発ターゲットと線表を示す。研究開発対象として、単結晶・多結晶Si、CIGS、CdTe、III-V族多接合太陽電池がある。有機・色素は、まだ、性能、寿命の点で課題が多く、NSF等の基礎研究フェーズである。表4には、研究開発予算計画を示す。M. Le (DOE) によれば、2011年の太陽光発電関係の予算配分は、結晶Si：薄膜：CPV：システム：第3世代＝8：6：3：6：1との事である。わが国における、有機・色素および第3世代の予算配分に首を傾げられた。

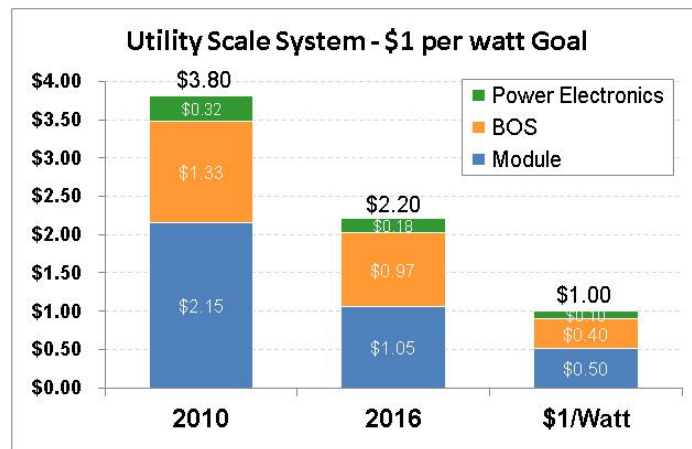


図23 SunShotプログラムのシステムコスト目標（モジュールコスト、BOSコスト、パワーエレクトロニクスコスト）



図24 モジュールコスト\$0.5/W、システムコスト\$1/W実現のための施策



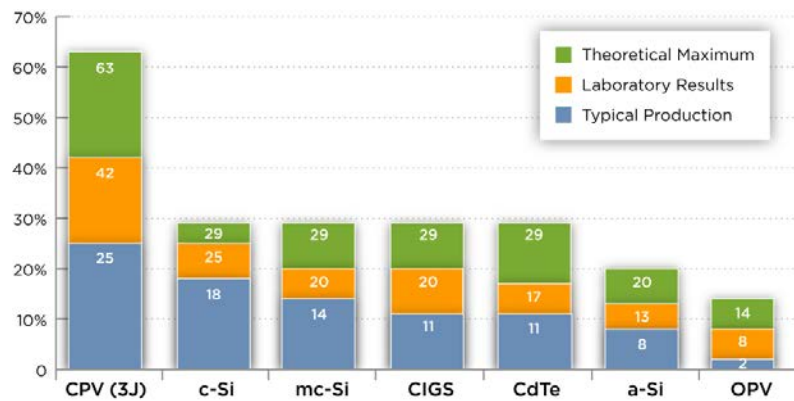


図 2 5 種々の太陽電池技術に関する、現行の製造モジュールの効率、研究室レベルのセル効率、理論効率

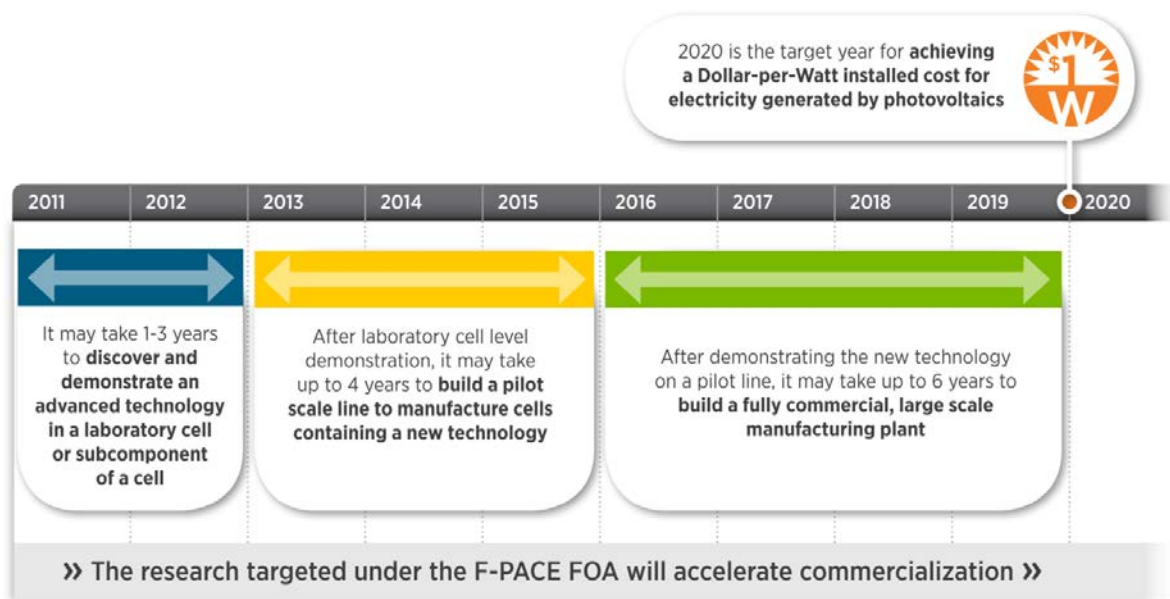


図 2 6 コストターゲット達成のための研究開発ターゲットと線表

表 4 研究開発予算計画

| Topic 1<br>(Sub-cell)                 | Topic 2<br>(Cell level) | Topic 3<br>(Barrier Focus Teams) |
|---------------------------------------|-------------------------|----------------------------------|
| Award Duration (years)                |                         |                                  |
| 3                                     |                         |                                  |
| Max Award Award (Total \$ per Award)  |                         |                                  |
| \$1.5M (\$1M Average)                 | \$1.5M                  | \$8M (\$6M Average)              |
| Estimated Annual Federal Funding (\$) |                         |                                  |

|                                                                |                                                                                                               |                                                                                    |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
| ~\$3M, (~9 Awards)                                             | ~\$4M, (~8 Awards)                                                                                            | ~\$4-6M (~2-4 awards)                                                              |
| <b>Objective</b>                                               |                                                                                                               |                                                                                    |
| Scientific advances in materials, device, and process research | Cell level foundational research closing the gaps between theoretical , lab, and production efficiency limits | Teams with very high level of focus on overcoming barriers to improved performance |

## 7. 感想

開催地がやや不便なこともあり、前回会議より参加者は減少した。米国は、10名の微増に対して、日本、ドイツ、韓国、台湾は、それぞれ、58名減、40名減、39名減、15名減で、企業からの参加者が減っている印象である。特に、結晶Si太陽電池セッションでは、欧米からの研究成果発表が盛んだが、日本企業からの参加は少なく、今後の危惧を感じる。また、欧州で産学連携が進んでいる。確かに、わが国は、結晶Si太陽電池生産量において、世界一だったが、中国に追い抜かれている。特に、中国企業は、UNSW、米国、ECNやSERISから技術導入をしており、わが国は、結晶Si太陽電池の研究開発者人口を増やし、レベルを上げることが必要である。半導体LSI凋落の二の舞を踏まないためにも、わが国における研究開発の強化と産学連携が必要である。中国企業に対抗するためには、震災復興事業として、時限性のオールジャパンの国営製造工場を震災地に設立するのも一案と思う。

昨年6月から、集光型太陽光発電に関する日欧の共同研究開発が始まり、欧米での集光型太陽光発電システムの重要性が再認識されており、わが国における超高効率太陽電池・材料、集光モジュールおよびシステムに関する研究開発の再強化の良い機会となろう。モジュールやシステムの信頼性やスマートグリッド、系統の安定化、プラグインハイブリッド等、システム研究開発の強化も必要であり、日欧共同研究開発と同様に、日米共同研究開発も期待したい。

DOEやNRELの人達と話す機会が多く、我が国での有機・色素にかけるリソースの多さに驚かれる。性能や信頼性に課題が多く、基礎にたちかえる必要があろう。

今回の39th IEEE PVSCは、2013年6月16日～21日、フロリダ州Tampaで開催予定である。