

# 19回EU太陽光発電国際会議（19th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition）報告

2004.6.25

山口 真史（豊田工大）

1. 開催年月日：2004年6月7日～11日。
2. 開催場所：Palais des Congres（パリ、フランス）。
3. 本会議の概要：

1年半毎に開催される太陽光発電に関する欧州主催の国際会議である。今回の会議の組織委員長はW. Hoffman（RWE）、副委員長はJ. Bal（ADEME）、論文委員長はH. Ossenbrink（EC-JRC）、P. Helm等WIPが中心となって、会議を運営していた。

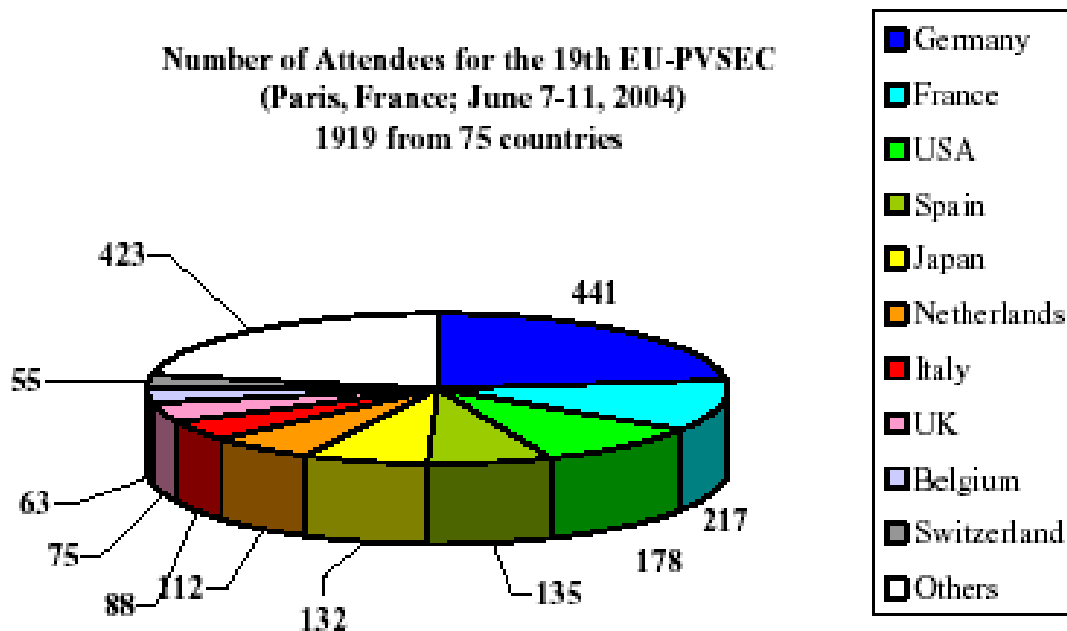


図1 国別参加者数

図1に、国別参加者数を示す。75カ国から1919名の参加者があった。太陽光発電関連の国際会議としては、これまでの最多の参加者であり、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を反映していると思われる。国別では、ドイツ441名、フランス217名、米国178名、スペイン135名、日本132名、オランダ112名、イタリア88名、英国75名、ベルギー63名、スイス55名の順であった。

Papers received by nations  
Percentages rounded off

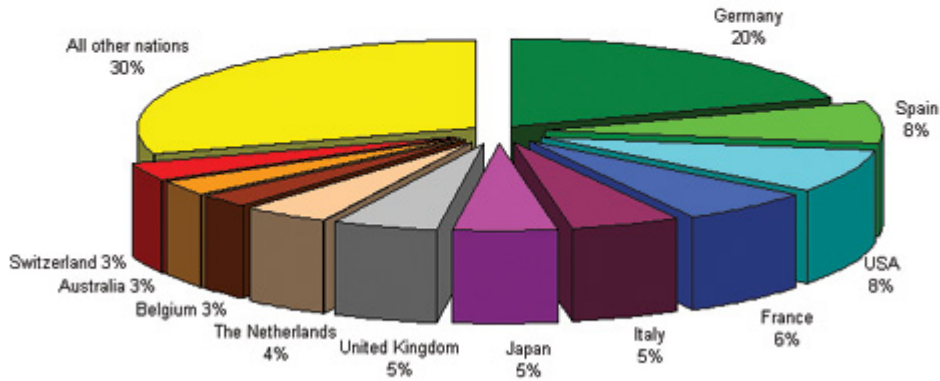


図2 国別投稿論文数

発表論文については、約1300件のアブストラクト投稿があり、プレナリー講演45件、口頭講演220件、ポスター講演905件、計、約1170件の論文発表が予定されていた。他にLate News 23件の発表があった。図2には、国別投稿論文数を示す。欧州で開催される国際会議であることから、欧州からの投稿数が圧倒的に多くなっている。中でも、ドイツからの投稿数が全体の20%と最も多くなっている。国別では、ドイツ20%、スペイン8%、米国8%、フランス6%、イタリア5%、日本5%、英国5%の順であった。

発表機関別では、Fraunhofer ISE (ドイツ) 50件、Univ. Politech. Madrid (スペイン) 25件、Univ. Konstanz (ドイツ) 20件、Hahn-Meitner Inst. (ドイツ) 20件、ENEA (イタリア) 18件、IMEC (ベルギー) 17件、UNSW (オーストラリア) 17件と、各国のPVに関する中核的研究拠点(COE)からの論文発表が多く、頑張っている様子が見える。

図3には、分野別発表論文数を示す。分野別では、結晶Si系254件、PVモジュール209件、Global Aspects165件、PVシステム147件、基礎、新デバイス・材料126件、CIS、CdTe、族系113件、a-Si及び微結晶Si薄膜系97件、族を含む宇宙51件、特別3件、の順であった。結晶Si系やPVシステム/Global Aspects/PVモジュール等のシステム分野の発表論文が多く、欧州で開催される国際会議の色彩が現れていた。

この他、26カ国から233件の展示があった。

Number of Papers presented  
at the 19th EU-PVSEC  
(Paris, France; June 7-11, 2004)

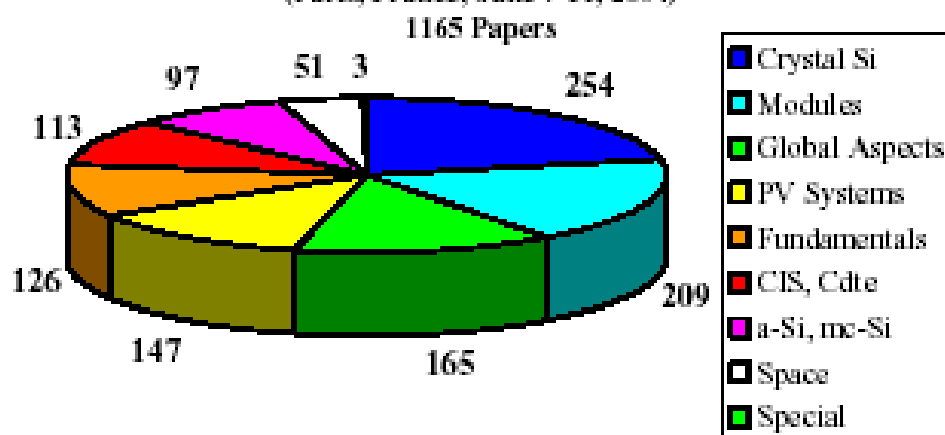


図3 分野別発表論文件数

#### 4. 主な発表論文の概要

論文委員会がまとめた本会議のサマリーに報告者が手を加えたものを参考資料として示す。以下、報告者が聴講した講演の主なトピックスを、各分野毎に簡単に紹介する。

##### 4.1 基礎、新デバイス、新材料分野

初日のプレナリーセッションで、第3世代PVに関する総合報告が、M. Green (UNSW, 1AP.1.1)、A. Martiら (UPM, 1AP.1.2) からなされた。第3世代のPV技術に関する理想状態での理論変換効率が議論され、最近の取り組みが紹介された。単一接合セルでは変換効率31%、その集光動作では41%が限界であり、第1世代、第2世代のPV技術は、そこで尽きる。高性能、低コストの第3世代のPV技術に関する研究が必要である。熱力学的考察から、最も現実的な多重バンドギャップの多接合セルの理想状態での変換効率は、表1に示すように、86.8%である。

表1. 多接合セルの理想状態での理論変換効率

接合数	1 - sun	集光
1 接合	30.8%	40.8%
2 接合	42.9%	55.7%
3 接合	49.3%	63.8%
4 接合	68.2%	86.8%

この他、表2に示すように、衝突電離などの多重電子正孔対生成の原理を利用できれば、変換効率85.4%、ホットキャリアセルでは85.4%、多重バンド励起が利用できれば86.8%など、可能性が示唆されたが、多接合セルや量子効果デバイスが現実的な解と思う。

実際的には、理論変換効率×0.8の変換効率70%の実現が可能で、実用効率としては、さらに×0.8の55%の可能性があるとしている。

表 2 . 第 3 世代の光起電力技術の提案と高効率化の可能性

Concepts	Proposed Year	Calculated Maximum Efficiency
Multi-Junction	1955	86.8%
Multiple electrons/photon	1972	85.4%
Hot Carriers	1981	86.2%
Multiple Band	1997	86.8%
Quantum Well	1990	
Impurity PV	1960	77.2%

U P Mが中心となって進めているMetallic Intermediate Band Cellについて、最近の成果が報告された。G a A s / I n A s 量子ドットを用いたセルでは、I - V特性において、初めて長波長域でのレスポンスが認められた。C. Honsbergら( Georgia Inst. Tech, 1AP.1.3) は、最近話題のInGaNを取り上げ、この系がmulti-junctionセルの効率向上に有望であることを紹介した。M. Durrら ( Sony International (Europe), 1AP.1.4) は、色素増感型セルのタンデムセルの試作結果を初めて報告した。このセルでは、従来の薄膜系と同様、トップセル、ボトムセルからなっているが、2つのセルが並列に接続されている点が異なる。タンデム化により、10.5%の変換効率(21.1mA/cm<sup>2</sup>, 0.690V, FF=0.72)が得られている。

#### 4 . 2 結晶 S i 太陽電池・材料分野

G. Willeke ( Fraunhofer ISE, 2CP.1.1) は、結晶 S i 系太陽電池の開発の歴史を振り返ると共に、Fraunhofer ISEにおける最近の成果と今後の見通しを述べた。現在、市販されている結晶 S i 太陽電池モジュールの変換効率を市場調査してみると、単結晶、多結晶によらず、10~15%の間に分布していることを示した。E P I Aのロードマップによれば、今後、2010年には、C Z - S i で16.5~20%、多結晶 S i で14.5~18%、2020年には、C Z - S i で22%、多結晶 S i で20%を達成することが目標である。また、S i の材料消費も2010年には、16~10 g / Wp、2020年には、8 g / Wpに低減する必要がある。さらに、2010年のモジュール寿命目標は35年である。最近の成果として、下記の成果の概要が述べられた。今後、厚さ100 μ m、20 c m x 20 c mの大きさで、変換効率20%を目指すとの事である。

表 3

Table 2: Results of solar cells made from FZ and high-quality mc-Si measured under standard testing conditions (25 °C, 1000 W/m<sup>2</sup>, AM 1.5 g). The size of the cells is 1 cm<sup>2</sup> aperture area.

\* Independently measured at Fraunhofer ISE CalLab.

† Independently measured at NREL.

Material	W [μm]	V <sub>oc</sub> [mV]	J <sub>sc</sub> [mA/cm <sup>2</sup> ]	FF [%]	η [%]
FZ	330	660	39.8	80.7	21.2
1 Ω cm mc-Si	218	649	38.5	78.8	19.7*
1.7 Ω cm mc-Si	218	653	38.8	78.6	19.9*
0.6 Ω cm mc-Si	99	664	37.7	80.9	20.3†

同研究所では、最近、多結晶 Si セルで20.3%と、多結晶 Si セルで初めて、20%を超える変換効率を達成した。O. Schultzら (Fraunhofer ISE、2D0.3.2) は、多結晶 Si セルの高効率化のため、熱酸化による表面パッシベーションの最適化を検討した。低温 (800 °C) でのウエット酸化が、結晶のバルク寿命の低下がほとんどないことを明らかにした。ScanWaferの1.7 cm<sup>2</sup> ウエハで効率19.7%、川崎製鉄の0.6 cm<sup>2</sup> ウエハで効率19.9%と20.3%を実現している (表3)。今後、厚さが100 μmのwaferで19%の変換効率達成は可能である。さらなる効率向上には、結晶のバルク寿命の向上、裏面パッシベーション技術の開発、セル設計が必要である。

また、同所では、これまで、厚さ36 μmのCZ - Siセルで20.2%の変換効率を得られている。D. Krayら (Fraunhofer ISE、2D0.3.3) は、機械研磨して薄型化したFZもしくはCZ単結晶 Si ウエハの表面損傷層を軽くKOHでエッチした後、マスク酸化層形成、フォトリソ、テクスチャーエッチ、エミッター拡散と続く。PSGエッチ後、105 nmのAR酸化膜を1050 °Cの熱酸化で形成する。裏面側にAlを全面に堆積させた後、レーザーでドット状にコンタクトを形成するLaser-Fired Contact (LFC; S. Glunz、2AO.1.1) 法が適用されている。表面グリッドには、薄いTiPdAg層を蒸着、電気メッキの厚層形成の後、425 °Cでフォーミングガスアニールされた。0.5 cm<sup>2</sup> FZの36 μm厚で効率20.2%、0.1 cm<sup>2</sup> FZの65 μm厚で効率20.4%、0.8 cm<sup>2</sup> CZの36 μm厚で効率19.5%が得られている (図4)。

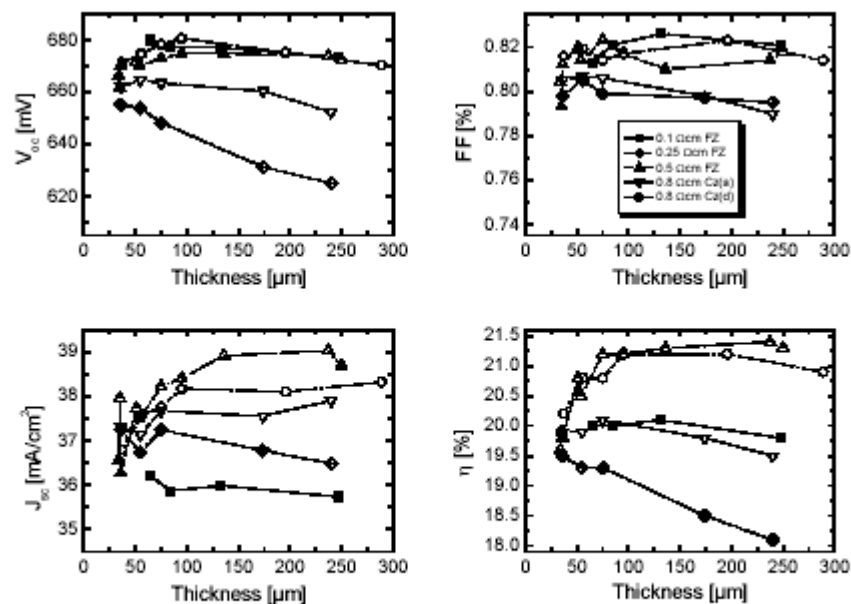
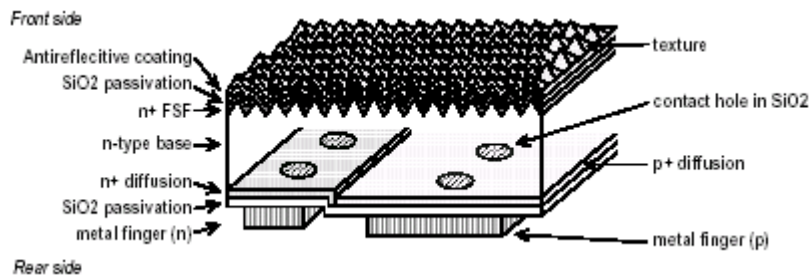


Fig. 6: Best IP-LFC cell results with 750 μm LFC pitch. Squares: 0.1 Ωcm FZ, Circles: 0.25 Ωcm FZ, Up triangles: 0.5 Ωcm FZ, Down triangles: Annealed 0.8 Ωcm Cz(B), Diamonds: Degraded 0.8 Ωcm Cz(B). The lines are guides to the eye.

図 4

W. Mulliganら (SunPower、2CP.1.2) は、Topsil製 PV - FZ Si を用いた高効率セル (図5) について講演した。面積148.9 cm<sup>2</sup>セルで21.5% (Voc = 678 mV、Jsc = 39.5 mA / cm<sup>2</sup>、FF = 0.803) の変換効率を得られている。この高効率セルを用いて作製したモジュール (101.8 cm x 51.0 cm) で18.2%の効率が得られている (図6)。現在のセルの効率を制限している最も重要なパラメータはライフタイムであるとのことであった

(図7)。また2003年からフィリピンに建設を始めていたSunPower Philippinesの向上が完成し、2004年5月には19.9%のセルが得られたとのことである。この工場は25MW/yearのcapacityを有している。



Schematic diagram of SunPower's A-300 solar cell (not to scale).

図 5

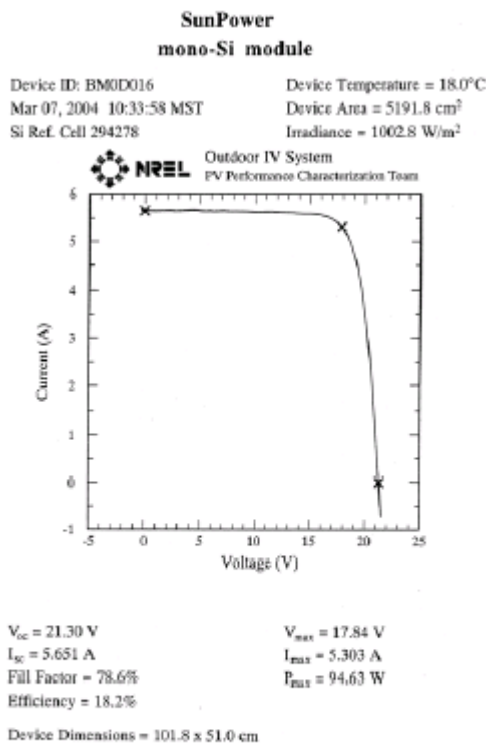


Figure 8: IV Curve 18.2% efficient 32-cell module tested by NREL.

図 6

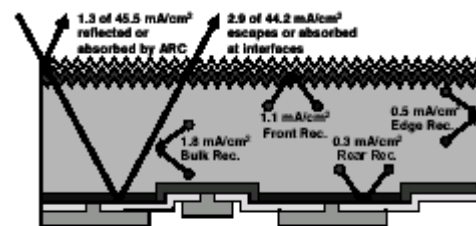


Figure 4: Breakdown of photon and recombination loss mechanisms at the maximum power point.

図 7

J. Schmidtら ( I S F H ) は、SiNによるパッシベーション膜開発について報告した。Siでは、p形よりもn形の方が、表面再結合速度が大きく、課題を残している。SiNNを作製するのに、従来のプラズマ法のほか、remote designによるマイクロ波プラズマCVDやhot wire-CVDを試みた。これまでremote方式で、屈折率が2.2以上の膜 (Si rich) に対して良好な結果が得られており (図8)、FZ-Si (1 cm) で効率20.6%、多結晶Siで18.1%の効率となっている。

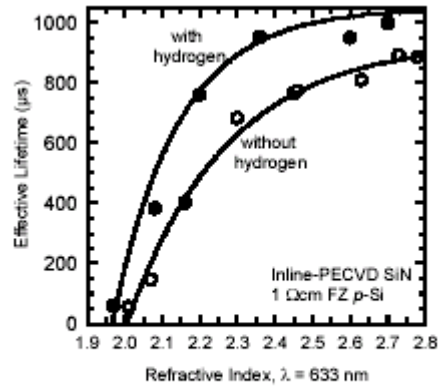


Figure 4. Effective lifetime as a function of refractive index for inline-PECVD SiN films deposited with and without hydrogen dilution.

☒ 8

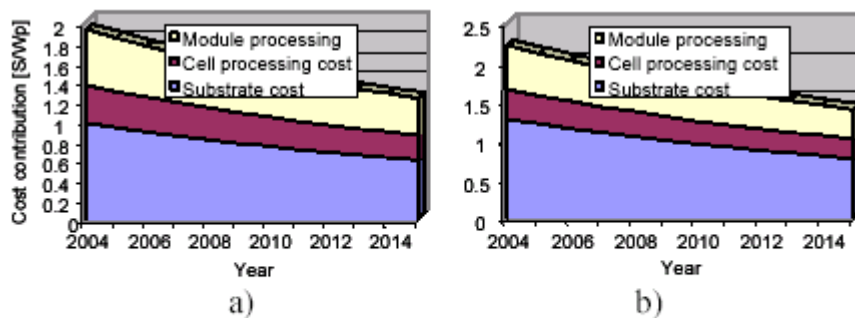


Figure 1: Cost evolution of bulk crystalline Si solar cell modules assuming a granted polysilicon feedstock supply at a cost of 15\$/kg or 35\$/kg

☒ 9

Type of technology	Project	Project acronym	Project coordinator
ZMR-cells on ceramic substrate (SiN, SiSiC)	Substrate and barrier layer optimization for CVD-grown thin-film crystalline Si solar cells	SUBARO	IMEC
Epitaxial cells on	• Reclaimed Si	SWEET	ISE
	• MG-Si (CVD)	EPIMETSI	ISOFOTON
	• MG-Si (LPE)	TREASURE	ELKEM
	• RGS-ribbons	SUBARO	IMEC
Polycrystalline Si solar cells on	• Mullite, glass	METEOR	HMI
	• Mullite	LATECS	IMEC

Table 1: Presently running European Projects in the field of thin-film crystalline Si solar cells at temperatures > 550°C.

表 5

バルク結晶 Si 太陽電池のコストに占める基板の比重は50%以上と大きい(図9)。Si原料の消費を低減することでコスト低減を狙うプロジェクトが欧州にある。J. Poortmansら(IMEC)は、IMEC、Fraunhofer ISE、HMI、Elkem、Isifotonなどでクラスターを作

って、高温・中温域における薄膜Si太陽電池を開発するプログラム（表5）、コスト等のターゲット（表6）および最近の成果が報告された（表7）。このための手法には、低コストSi基板やセラミックスなどを使うものが含まれている。

	Conductive substrate route			Non-conductive substrates Monolithic modules	
<b>Thin-film technology generation</b>	Epitaxial cells	Epitaxial cells with optical confinement	ZMR-based Si solar cells on a conductive ceramic	ZMR-based approach on a non-conductive substrate	Polycrystalline Si on ceramic or glass substrate
<b>Cost target</b>	1.3-1.5 \$/Wp	1-1.3 \$/Wp	1-1.3 \$/Wp	< 1.3\$/W <sub>p</sub>	< 1 \$/W <sub>p</sub>
<b>Crucial items / R&amp;D topics</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• (U) MG-Si substrate development</li> <li>• Epitaxial Reactor development</li> <li>• Texturing of thin epitaxial layer</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Upscaling porous Si setup</li> <li>• Epi on porous Si / optimisation of reorganized porous Si</li> <li>• Texturing of thin epitaxial layer to optimize optical confinement</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductive ceramics</li> <li>• Conductive SiC intermediate layer</li> <li>• ZMR-process with low-cost capping layer</li> <li>• Passivation and gettering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Insulating ceramic substrate (large size &gt; 30x30 cm<sup>2</sup>)</li> <li>• Passivation and gettering</li> <li>• Monolithic module process</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grain size control</li> <li>• Improved passivation (H)</li> <li>• Optical confinement to for Si- layers &lt; 5 μm</li> <li>• High- T glass</li> </ul>

Table 3: Roadmap for introduction of high-temperature crystalline Si thin-films into solar cell production

表 6

Project acronym	Substrate development	Active layer development	Cell results
<i>Epitaxial approach</i>			
SWEET	Highly doped substrates made from off-spec and reclaimed Si	ConCVD: epitaxial growth of 10 μm epi on 50 substrates within 15 min	12.1% (5x5 cm <sup>2</sup> ; reclaimed Si) 11.6% (5x5 cm <sup>2</sup> ; off-spec Si)
EPIMETSI	Large-area MG-Si substrate (10x10 cm <sup>2</sup> )	See concept in Table 1	12.9% (6x6 cm <sup>2</sup> ) 12.2% (10x10 cm <sup>2</sup> )
TREASURE	Large-area MG-Si substrate (10x10 cm <sup>2</sup> )		
SUBARO	Large-area highly doped RGS-substrates (5x5 cm <sup>2</sup> )	See SWEET	10.4% (4 cm <sup>2</sup> ) 9% (5x5 cm <sup>2</sup> )
LATECS	Lifted-poff porous Si-layers	Epi on freestanding PS	12.1% 9% (HIT-process)
<i>Epitaxial and ZMR-cells</i>			
SUBARO	Process for tape-casted SiN (10x10 cm <sup>2</sup> ) developed Process for highly doped RGS-ribbons	ZMR of ceramic substrates with 20 cm width and improved reproducibility with SiC intermediate layer	8.7% (5x5 cm <sup>2</sup> ; strongly contaminated RGS-ribbons) 10.7% (1x1 cm <sup>2</sup> ; SiSiC-substrate) 9% (1x1 cm <sup>2</sup> ; tape-casted SiN-substrate)
<i>Polycrystalline Si solar cells</i>			
METEOR	No substrate development involved, but the activities are on glass, Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> and mullite	Grain size up to 20 μm after ALILE treatment on glass substrates and 10 μm on ceramic substrates	4-5% (1x1 cm <sup>2</sup> ; mullite substrate)
LATECS	Innovative mullite substrate consisting of industrial mullite covered with high-purity mullite and high-quality surface finish	Enhanced grain size (5-10x) by means of CVD on mullite substrate covered with specifically developed coating	In development

Table 4: Overview of main achievements/project; not all cells are filled because activity is not contained within the concerned project

表 7

京セラからの発表が、注目を集めた。K. Shirasawaら（京セラ、2DO.3.5）は、量産プロセスを用いて、変換効率17.7%（ $V_{oc} = 0.6203 V$ 、 $I_{sc} = 8.596 A$ 、 $FF = 77\%$ 、面積 $232.5 cm^2$ ）の多結晶Si太陽電池を作製したことを報告した。この値は、多結晶Si太陽電池において、量産プロセスとしてみると世界最高である。今回の性能向上は、mc-Siインゴ



ットの改良、表面グリッド電極パターンの設計、firing温度の最適化により達成されたものである。

### 4.3 モジュール分野

モジュール分野では、日本の集光型多接合太陽電池モジュール技術が注目された。荒木ら（大同特殊鋼、大同メタル、シャープ、豊田工大、5DP.1.3）は、“日本における集光型多接合太陽電池モジュールの研究開発状況”と題して、プレーナリ講演を行った。今回の成果は、要素技術としてのInGaP/InGaAs/Ge 3接合の高効率化、注入モールド法による低コスト1次フレネル光学レンズの開発、光強度の均一化と色収差の補正に有効な2次光学系の開発、良熱伝導性エポキシシートの開発、等の研究開発によるものである。

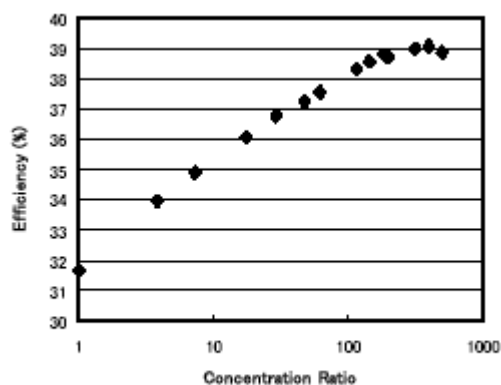


Figure 1: Efficiency of the cell vs. Number of suns

図 1 0

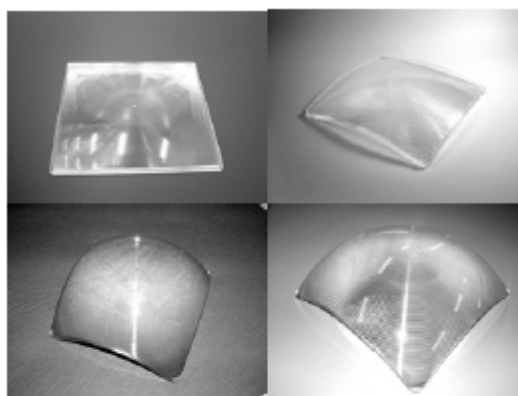


Figure 5: Generations of injection-molded Fresnel lenses  
**Top-left:** 1st generation flat design (400 X, 77.3 % of peak efficiency, 2001)  
**Top-right:** 2nd generation half-dome design (400 X, 81.5 % of peak efficiency, 2002)  
**Bottom-left:** 3rd generation full-dome design made by collapsible molding die (400 X, 85.4 % of peak efficiency)  
**Bottom-right:** 4th generation full-dome design made by collapsible molding die (556 X, 91 % of theoretical efficiency)

図 1 1

InGaP/InGaAs/Ge 3接合セルについては、ダブルヘテロ接合構造ワイドギャップトンネル接合の提案、格子整合InGaAsミドルセルの提案、InGaP-Geヘテロフェース構造Geボトムセルの開発により、図10に示すように、AM1.5の200倍集光で効率39.2%、498倍集光で38.9%を実現している。1次光学レンズについては、図11に示すように、平板型から半ドーム型、ドーム型へと改良されている。2次光学系として開発したホモジナイザーを図12に示す。良熱伝導性エポキシシートの開発により、400~500倍集光下でも、モジュールの温度上昇は6程度に抑えられている。図13には、屋外試験に用いられている2軸追尾集光型3接合太陽電池の4モジュール(1モジュール168.2x42.2cm)を示す。屋外試験(810.4W/m<sup>2</sup>、周囲温度21.9)で、0.7056m<sup>2</sup>モジュールは、400倍集光(モジュール温度29)で、効率27.6%、出力189Wが得られている。図14には、集光型3接合太陽電池モジュールと平板型結晶Si太陽電池との屋外における出力特性の比較を示す。集光型により、平板型に比べて、約3倍の出力が得られている。2006年3月末までに、セル効率

の向上 (38.9% 40%)、1次光学レンズの光学効率の向上 (85.8% 91%) 等により、モジュール効率31%以上を目指している。これらの成果は、[www.syracuse-pv.webhop.org](http://www.syracuse-pv.webhop.org) で見ることができる。



Figure 9: Top view of the concentrator receiver after lamination process.

図 1 2

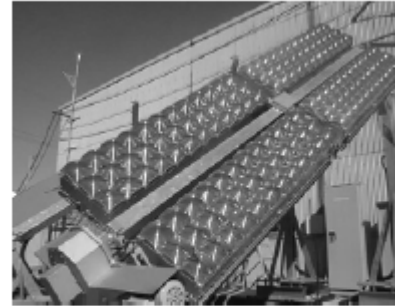


Figure 10: Field test in Inuyama Site 25 km North from sea, 3 km South from a big river constructed on sunken place, little wind

図 1 3

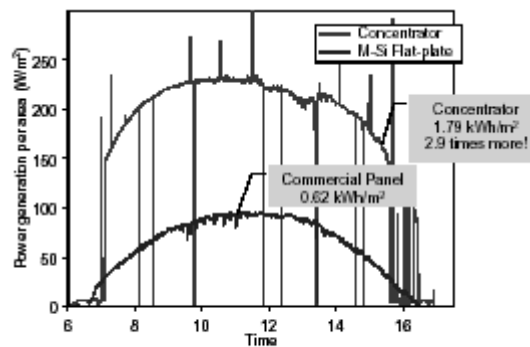


Figure 13: Comparison to a commercial flat-plate crystalline silicon module

図 1 4

表 8

Table 1. Roadmap table of more than 31 % efficiency module

		Technologies in Nov. 2002	Design in Aug. 2003	Technologies in Mar. 2004	Technologies in Mar. 2005	Technologies in Mar. 2006
A	Cell Efficiency @ 1sun	30.1 %	30.3 %	32 %		
B	Cell Efficiency 400 X	34.4 %	35.3 %	37 %		40 %
C	Lens Efficiency	72.4 %	85.4 %	85.8 %		91 %
D	Homogenizer Efficiency	94.4 %	96.3 %	97.5 %	97.5 %	97.5 %
E	Ohmic Loss in Circuit	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %	0.1 %
F	Spectrum Mismatching Loss	5.3 %	5.1 %	3 %		
G	Current Mismatching Loss	3.7 %	3.7 %	2 %	2 %	2 %
H	Loss by Temperature Rise	1.2 %	1.3 %	1.3 %		1 %
I	Total Efficiency	21.7 %	27.0 %	29 %	> 29 %	> 31 %

集光型多接合太陽電池モジュール技術については、山口（豊田工大、Becquerel Prize 受賞記念講演）も触れている。多接合太陽電池については、集光型 3 接合セルにより、図 15 に示すように、ほぼ40%に近い効率が実現しており、今後の効率ターゲットは50%である。集光型 4 接合、5 接合セルの開発により、可能であろう。また、集光式太陽光発電システムは、図 16 に示すように、電力コストの低減に有効であり、一番手としての結晶 Si 太陽電池、二番手としての薄膜太陽電池に加えて、三番手として、集光型太陽電池が、実用化されることを期待している。

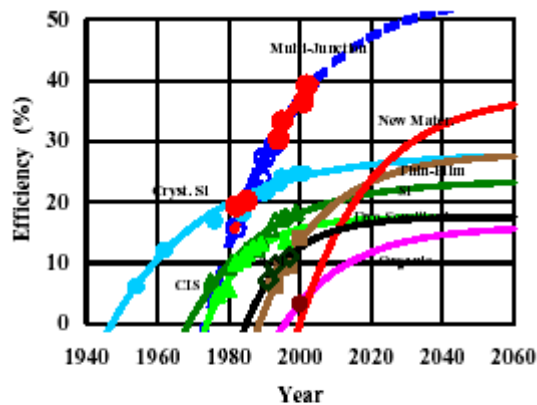


Figure 3: Future predictions of solar cell efficiencies (Original idea by Professor A. Goetzberger [11] and modified by M. Yamaguchi)

図 1 6

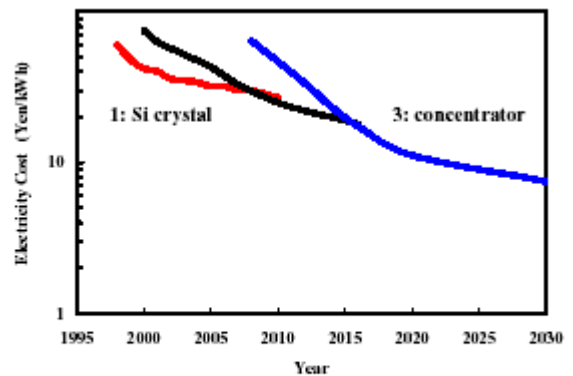


Figure 4: Scenario of electricity cost reduction by developing concentrator solar cells.

図 1 7

#### 4 . 4 - 族化合物半導体太陽電池を含む宇宙用太陽電池分野

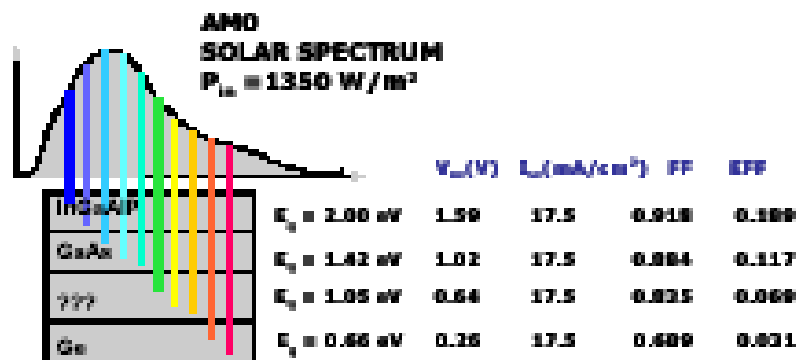


Figure 5. AM0 theoretical efficiency for a four-junction solar cell, which for the complete device is 41.5%. From [44].

図 1 8

P. Sharps (Emcore PV、8BP.2.1) は、“高効率多接合太陽電池の過去、現在、将来”と題して、プレーナリ講演を行った。1955年のJacksonによる多接合太陽電池の概念の提案から始まり、Emcoreの技術開発状況が述べられた。Emcoreの実績は、10万枚以上のセル製造時の平均 AM0 効率は27.6%で、今後は28.5~29%を目指している。 - 族多接合セ

ルは、宇宙用太陽電池のとして実用化されているが、今後は、日本のプロジェクトと同様、集光型太陽電池として地上用への展開に関心を示している。将来技術として、理論 AM0 効率41.5%の4接合セル(図18)、3接合セルのバンドギャップの最適化、メカニカル・スタック構造、新材料、をあげている。

M. Meuselら(Fraunhofer ISE、Philipps Univ.、RWE、ESTEC、DLR、8BP.2.3)は、“一族多接合宇宙用太陽電池開発の欧州ロードマップ”と題して、プレーナリ講演を行った。RWEの3接合宇宙セルの実績は、最高AM0効率28.6%、平均27.8%で、Emcoreとほぼ同じレベルに到達している。今後は、30%以上を目指して、3接合セルの改良に加えて、5接合、6接合へのアプローチを述べた。AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/GaInNAs/Geの6接合構成の理論AM0効率は46.7%(図19)である。AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/Ge5接合セル作製の試みが報告され、AM0効率24.0%(図20)を実現している。評価には、5ソースシミュレータの必要性や新材料GaInNAsの高品質化の重要性が指摘された。

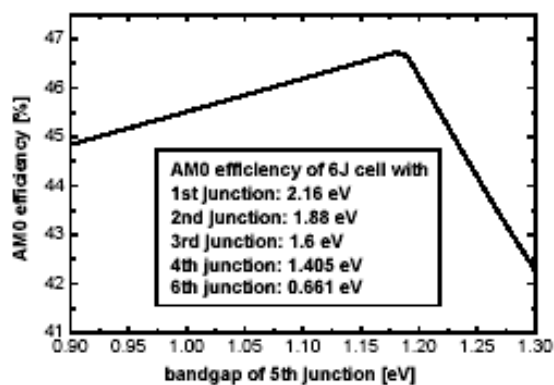


Figure 7: Thermodynamic AM0 efficiency limit of a AlGaInP/GaInP/AlGaInAs/GaInAs/GaInNAs/Ge 6J cell in dependence on the bandgap of the 5<sup>th</sup> GaInNAs junction. The fixed bandgaps of the 1<sup>st</sup> and 3<sup>rd</sup> junction are lower than optimum for practical considerations and a more realistic choice of materials.

図 1 9

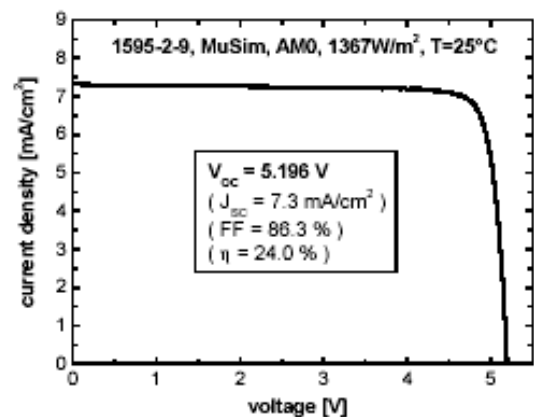


Figure 8: AM0 I-V curve of the 5J cell measured with a 3-source simulator. The  $J_{SC}$ , FF and efficiency are not reliable. However, the  $V_{OC}$  is hardly spectrally dependent and a very high value of about 5.2 V was measured.

図 2 0

R. Kingら(Spectrolab、NREL、8BP.2.4)は、Spectrolabの一族多接合セルの開発状況について、プレーナリ講演した。格子接合系GaInP/GaInAs/Ge3接合セルで、最高AM0効率30.16%、平均効率28.3%(面積30cm<sup>2</sup>以上、12,323枚セル)を実現し、EmcoreやRWEよりは若干先行している。図21に、Spectrolabの技術開発のフローを示す。また、地上用への適用を狙いとして、集光型セルの開発を進めており、37.3%を実現している(図22)が、日本のプロジェクトの成果39.2%に比べるとやや劣るが、今後競争が続くであろう。3接合セルでも、格子不整合系は、理論AM0効率36.2%であることから、格子不整合系についても、精力的に検討が行われている。格子不整合系の転位密度は、10<sup>6</sup>cm<sup>-2</sup>台である。AM0効率13.47%が得られている(図23)。

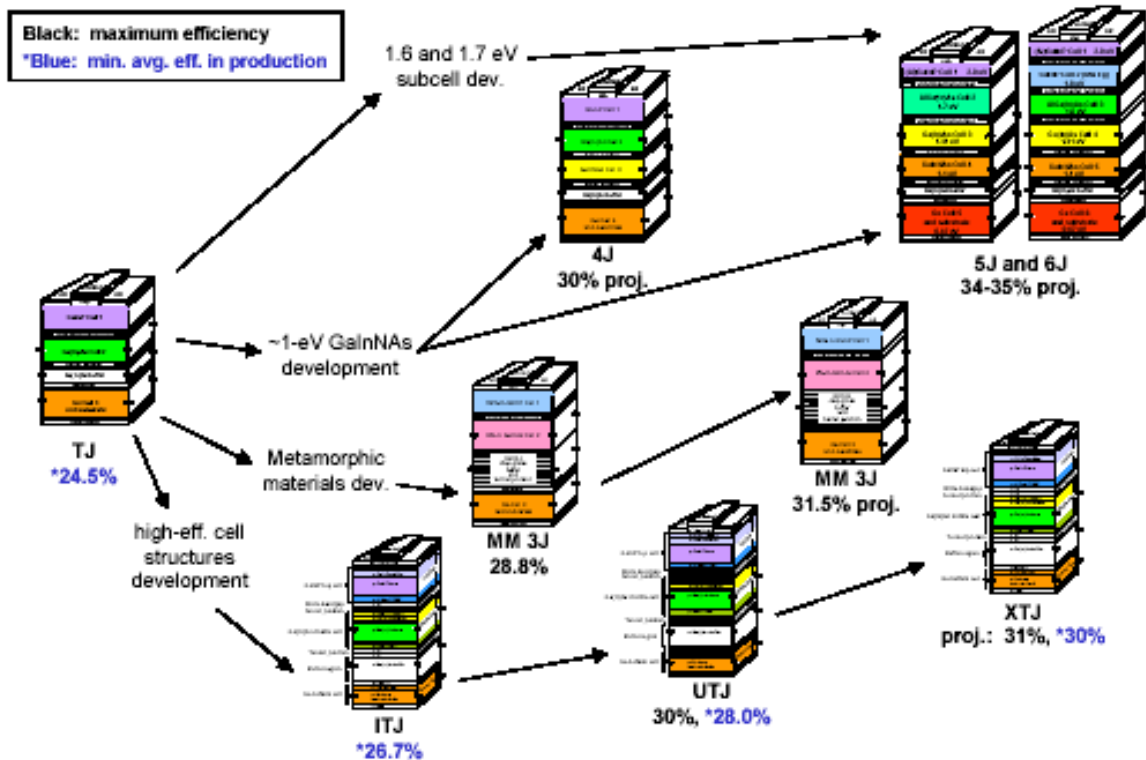


図 2 1 Spectrolabの技術開発のフロー

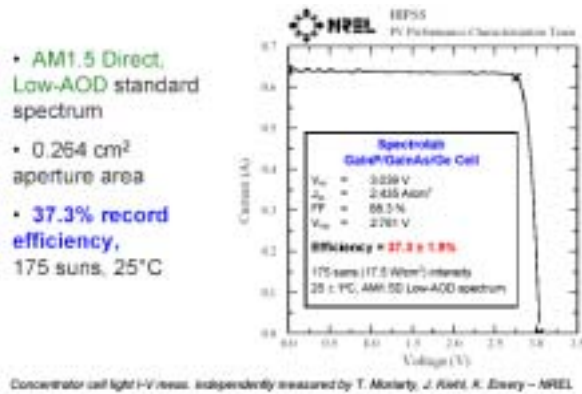


図 2 2

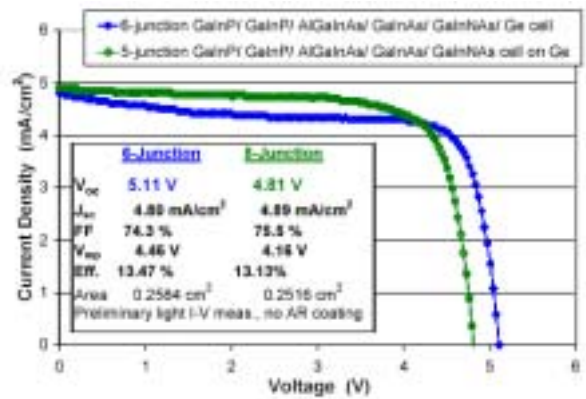


図 2 3 5、6 接合セルの試み

T. Takamotoら (Sharp, 8AV.3.26) は、フレキシブル  $\text{III-V}$  族多接合セルの試みを報告し、注目を浴びた (ポスター賞受賞)。a-SiやCIGSなどの薄膜セルが、宇宙用フレキシブル太陽電池として検討しているが、性能は不十分である。ウエハボンディング、エピタキシャル・リフトオフや薄層剥離技術による  $\text{III-V}$  族セルの薄層化と転写技術の試みはあるが、実用レベルで成功した例はない。今回、MOCVDエピタキシャル成長InGaP/GaAs 2 接合セル (図 2 4) が、金属薄膜上に転写され、セルの厚み $3.5\mu\text{m}$ 以下、面積 $4\times 7\text{cm}$ までのフレキシブルセル (図 2 5) が作製されている。1 cm角セルで、AM0 効率25.2% (図 2 6) が得られており、金属薄膜による光反射の有効性や放射線耐性の向上のメリットも得られている。この値は、典型的なInGaP/GaAs 2 接合セルの値にほぼ同じである。現状の重量比出力 $3\text{W/g}$ だが、 $5\text{W/g}$ 以上も可能であるとの事で、フレキシブル宇宙用太陽電池として有望である。また、エピタキシャル用基板の再利用も可能との事で、今後の技術

開発次第で、地上用としての適用も可能であろう。

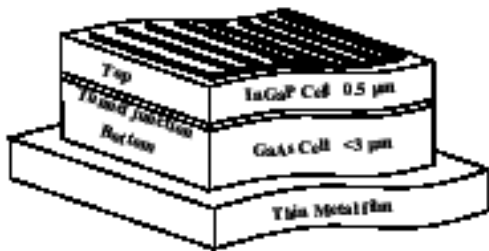


Figure 1: Schematic illustration of a flexible thin-film InGaP/GaAs dual junction solar cell

図 2 4

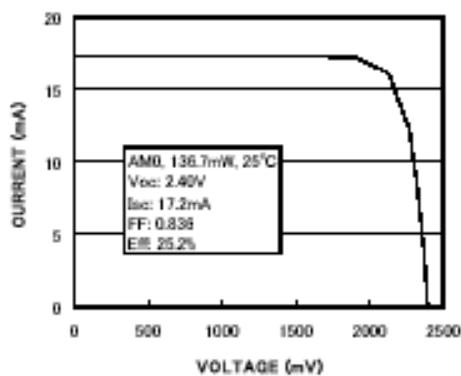


Figure 7: Light I-V curve for the best efficiency cell measured under AM0, 25°C condition.

図 2 6

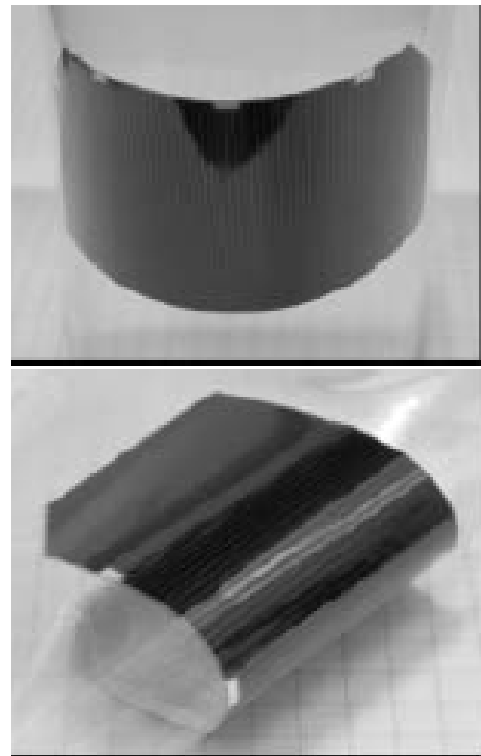


Figure 2: Photograph of the flexible InGaP/GaAs cell with 4 cm x 7 cm in size. The cell is sandwiched by transparency films.

図 2 5

#### 4 . 5 各国のPVビジョン

K. Kurokawaら（農工大、NEDO）は、“日本の2030 P Vロードマップ”について、プレーナリ講演した。このようなビジョンを実現するためにも、今後の技術開発の一層の強化が必要である。

#### 5 . 感想

P V関連の国際会議としては、これまでの最多の参加者の会議となり、また展示が 233 件もあり、太陽光発電への熱い期待が感じられた。

多接合化による高効率化が進んでいる。変換効率 40% にほぼ近いレベルに達し、今後は、変換効率 50% がターゲットである。超高効率化の極限追及に向けて、切磋琢磨して行きたい。集光技術も着実に進展進展しており、集光型高効率・低コスト太陽電池を世の中に出して行きたい。また、結晶 S i への集光技術の適用も検討されるべきだろう。

結晶 S i 太陽電池に関しては、欧州勢の研究開発は活発であり、わが国でも、もう一度、基礎的研究開発の強化が必要である。

（以上）