

PVSEC17 速報

近藤道雄 (産業技術総合研究所)

光技術動向調査委員会太陽光エネルギー分科会主査

会議名：The 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference(PVSEC-17)

開催期間：2007年12月3日～7日

開催場所：福岡国際会議場、福岡、日本

*****要約*****

PVSEC17は過去アジア太平洋地域で開催された太陽光発電国際会議のなかで最大のものである。およそ半分の46%の論文が日本から、ついで韓国10%、ドイツ8%、台湾、米国5%、中国、オーストリア、タイ、オランダと続く。ホンダが最近事業化を発表した化合物薄膜系(CIGS)太陽電池の詳細を初めて公表し、話題をまいた。基礎、III-V系化合物、結晶シリコン、薄膜シリコン、化合物薄膜、システム、産業動向、政策など8つのエリアで活発な討議が繰り広げられた。どの会場も立ち見が出るほど満員で、質疑も活発であった。また産業動向や政策のセッションでも参加者の高い関心が見て取れた。

1. はじめに

The 17th International Photovoltaic Science and Engineering Conference (PVSEC-17)が福岡国際会議場で12月3日から7日までの日程で開催された。この会議はアジア太平洋地域で持ち回りで開催される会議であり、ヨーロッパのEU-PVSEC、アメリカのIEEE-PVSCと並ぶ太陽光発電に関する世界の三大会議の一つである。これら三つの会議は4年程度に一回共同開催として世界会議WCPECを開催している。前回の世界会議WCPEC-4はハワイで開催された。今回はヨーロッパ、次々回は日本の予定である。PVSECは前回は上海で開催された。今回は久しぶりの日本開催であり、前回日本で開催されたPVSECはWCPEC-3のときであり、2003年のことである。そのときと比べると太陽光発電の状況は大きく変化している。たとえば太陽電池の生産量は2003年当時と比べると2006年度3倍以上にもなっている。その違いはセッションにおける活気の違いとなって如実に現れているように感じた。今回はどの会場に行っても人があふれており、朝早くから終了時刻間近になっても人が減ることが少なかった。セッションは1)新材料、デバイス、2) III-V材料、集光、宇宙太陽電池、3)結晶シリコン、4)薄膜シリコン、5)化合物薄膜、6)モジュールシステム、7)屋外システム、8)政策、産業、市場動向、環境の8つのエリアに分けられ、それぞれ全体基調講演(5件)、エリア別プレナリー(21件)、招待講演(49件)、口頭(172件)、ポスター(364件)、の5つの形態で発表された。

太陽電池市場を牽引しているのはヨーロッパである。ドイツのフィードインタリフに始まった補助金制度はヨーロッパ中に拡大しつつあり、その結果ドイツでは年間導入量でも累積導入量でも日本を抜いて世界一の太陽光発電国となった。それに呼応するように最近のEU-PVSECでは参加者3000人、併設の展示出展企業500社ときわめて巨大な国際会議となっている。今回PVSEC17では投稿論文700、参加者1000名を

目指して計画されたが、結果的に論文数 640、参加者 1400 名となった。この数字は企業からの参加者が多かったことを示唆しており、産業的な意欲が非常に高いことが見て取れる。最近の活況を受けて PVSEC もこれまでの方針を変更して毎年開催の方向に舵を切った。来年は米国で IEEE が 5 月に、EU-PV が 9 月に予定されているので、ほぼ一年後の再来年の 1 月にインドで開催されることになった。

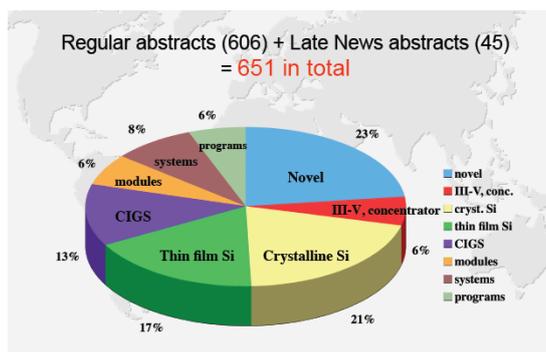
今回の PVSEC で感じられたのは日本はいまだ技術的優位を保っているものの、ヨーロッパ、ドイツを中心に急速な追い上げがあり、アジア勢もまた活発な研究を展開している。今スパートしなければあっという間に抜きさらされてしまうのではないかという危機感を深めた。

2. 会議の概要

会議は 12 月 3 日から 5 日間の日程で開催されたが、前日の 2 日には子供たちを集めて太陽電池を用いた工作コンテストが行われ、一般向けのセミナー講演も行われた。3 日からはヨーロッパ形式で行われ、初日の午前中から技術セッションで始まり午後からはオープニングセレモニーが行われた。豊田工大山口委員長の開会宣言、資源エネルギー庁渡邊課長、麻生知事の挨拶で会議は幕を開けた。麻生知事は九州が太陽電池生産のメッカの一つになりつつあることに言及され、今後も力を入れていくと述べられた。

それに続くキーノートではシャープの富田フェローがシャープの太陽光発電への取り組みについて、特に最近報道があった 1 GW 薄膜太陽電池工場について講演され注目を浴びた。またドイツからは国会議員の Fell 氏が太陽光発電の将来性について熱いメッセージを語られた。Fell 氏はドイツでの補助金制度導入の立役者であり、現在の太陽光発電の活況の基盤を築いた人物である。全体基調講演では資源エネルギー庁渡邊課長が日本の太陽光への取り組みについて、結晶シリコンからアメリカサンパワー社のスワンソン氏、薄膜シリコンからはエリコンソーラーのマイヤー氏が講演された。そのあと各エリアにわかれオーラルセッションとポスターで講演が行われた。各エリアごとの論文数内訳を図に示す。また、平行して IEA の PVPS ワークショップが開催された。

毎回会議では PVSEC アワードと PVSEC 功労賞が授与されるが、今回はアワードが薄膜太陽電池の発展に寄与したカネカ山本上席幹部（第 7 分科会委員）に、功労賞が長年コンサルタントとしてこの分野の発展に貢献された資源総合システムの一木社長に授与された。



恒例のバンケットはホテル日航で吉田福岡市長を迎えて行われた。和太鼓のアトラクション、抽選コーナーでは博多人形も贈呈され、参加者はくつろいだひと時を大いに満喫したようだ。

最終日には会議中に発表された論文の中から、論文賞ならびに若手奨励賞、ポスター賞が各エリアから 1~2 件選出され、賞状ならびに副賞が授与された。これに続く会議としては 2008

年 5 月にサンディエゴで IEEE 国際会議が、9 月にはスペイン、バレンシアで EU-PVSEC、2009 年 1 月にはインド、コルカタで PVSEC が開催されることがアナウンスされ 5 日間の全日程を終えた。

以下では会議での主なトピックスを紹介する。

化合物では CdTe の動きが欧米では活発でファーストソーラー社が製造コストワットあたり 1.19 ドルと発表して衝撃を与えた。また、もうひとつの特徴は色素増感や有機薄膜、第 3 世代太陽電池などの基礎研究に関連する発表が非常に多かったことで、米ベンチャーの KONARKA 社からは有機薄膜太陽電池で 5.2%の効率

が NREL で確認されたと発表があった。

3. 会議の内容

3. 1 プレナリー

サンパワー社のスワンソン氏が裏面接合型の単結晶シリコン太陽電池について同社の戦略について講演した。同社ではセル効率で量産レベルで平均 22.4%を達成している。モジュールにおいても 20%を達成している。同社のセルでは表面側に電極の影による損失がまったく無いので高効率化には有利である。問題は良質のシリコン原料が必要なことで 100~200 ドル/kg のものを使用しているようである。そのためシリコン原料の節約が重要であると指摘し、現在の 7g/W 程度を 100 ミクロンウエーハー厚で 23%の効率により 1g/W まで節減でき、それによりシステムで 2012 年には 3.5 ドル/W と現在の半分程度にコストダウンできるとした。エリコンソーラー社のマイヤー氏は近年のシリコン原料不足に触れ、薄膜シリコンの原料に対する依存度の小ささと、コストの優位性を主張した。また、最近の薄膜の進展について多接合デバイスに関してヌーシャテル大学、カネカ、ユニソーラー、ユーリッヒ研究所、産総研などの成果を交えながら紹介した。エリコン社は現在製造装置を販売しているが、その装置で 1.4m²で 9,63%のモジュール初期効率が実験室レベルで得られていると紹介した。最後にショットソーラーのイエナの 30MW ライン、エルゾルのエルフルトの 40MW のライン、三菱重工、カネカなどの事業化について紹介があった。

初日はプレナリーのあとに PVSEC アワードの表彰が行われた。今回はカネカの山本上席幹部（第 7 分科委員）が薄膜シリコンの開発における功績に対してアワードが贈呈された。山本氏は、アモルファスシリコン、微結晶シリコンタンデム型太陽電池の開発において、微結晶シリコン太陽電池で効率 10.1%、タンデム型小面積セルで 14.7%、モジュールで 13.4%と世界をリードし続けてきた。その間、透明中間層を用いた高効率化技術を独自に開発した。この開発結果は現在事業に展開されようとしており、薄膜シリコン太陽電池の開発の方向性を決定することに多大な貢献があった。また特別功労賞は長年、太陽光発電全般の情報提供とコンサルティングで活躍されてきた資源総合システム社長 一木氏に贈呈された。

以下では各エリアごとのトピックスを紹介する。

3. 2 エリア 1 （新材料、デバイス）

この分野は 3 つに分けることができる。一つは最近注目を浴びている色素増感型太陽電池であり、高効率化ではこれまで小面積セルで 11%を超える効率がシャープとグレッツェル教授率いる EPFL から報告されているのに対し、シャープからは集積モジュール (26.5cm²) でモジュール効率 7.9%が報告された。小面積セルの効率向上は最近一段落した感があり、モジュール効率、信頼性など製品化に向けた開発に重心が移っているようである。二番目は有機薄膜型太陽電池である。この分野は KODAK の TANG らが有機 EL を発表して以来アメリカを中心に非常に活発に研究開発がすすんでいる。今回 2000 年導電性ポリマーで白川筑波大教授とともにノーベル賞を受賞したヒーガー博士率いる KONARKA 社が 1cm²のセルで 5.2%の効率を達成したと報告した。これは NREL で確認された値である。日本からはシャープが 1cm²で 3.8%を報告した。3 番目はいわゆる第 3 世代太陽電池と呼ばれる新概念太陽電池である。オールシリコン量子ドットの概念は前から UNSW から提案があった。今回もデバイスに関する成果報告は無かったが、来年中には何らかのデバイスの結果を公表するとされた。また同様のホットキャリアセルに対する解析が UNSW と豊田中研から発表があった。

3. 3 エリア 2 (III-V 集光、宇宙太陽電池)

この分野はアメリカが最も進んでいるが、今回アメリカからの投稿が思ったほど伸びなかったこともあって、論文数としてはやや少なかった。アメリカでは DARPA プロジェクトで超高効率太陽電池の開発が行われているが、今回スペクトロラボ社から 240 倍集光で 40.7%が報告され、40%の壁を突破した。同様に NREL からは非集光で 33.8%、シャープからは 1000 倍集光で 40%が報告された。これらはいずれも GaInP/GaInAs/Ge の三接合系である。集光系システムが実際にマーケットに普及しだしたことも報告された。宇宙用太陽電池ではシャープからリフトオフによる新しい方法により作製された薄膜フレキシブル太陽電池について報告された。量子ドット型などに向けた新材料としては筑波大グループから歪系を利用した量子ドット太陽電池について報告があった。

3. 4 エリア 3 (結晶シリコン)

結晶シリコン分野では市場が活況で、かつシリコン原料が不足していることから、薄型化と高効率化の話題が中心であった。三菱電機からは従来技術の高度化によって 18%のセル効率が報告された。印刷電極の細線化、表面テクスチャの改良、アニーリングの高度時間制御によるバルクパッシベーションの向上がポイントであると報告された。また 100 ミクロン厚で 16.7%が得られている。京セラからはエミッタラップスルー背面電極型で 18.3% (233.3cm²) を報告した。これは以前表面電極型で 17.7%を報告していたセルから電極のシャドーロスを取り除いたことが主な改良点であるといえる。シャープからは単結晶ウエーハを用いた背面接合型(サンパワー社のもとの基本的に類似の構造)で 20.1%の効率を 130 ミクロンウエーハで達成した。このプロセスは従来の印刷法と完全にコンパクトであることが示され、プリント基板を用いた実装方法についても新しい提案がなされた。三洋電機からは 22.3%の変換効率が 100cm² の HIT 太陽電池と 736 mV の高い Voc が報告された。一方、欧州勢からは効率そのものに対するアップデートは無かったが、n 型基板利用技術、1GW の一貫ラインの提案など興味深い発表があった。またドイツの Q-セル、中国のサンテック、台湾のモーテック社から今後のビジネス戦略に対する紹介があったが会場は超満員であった。

3. 5 エリア 4 (薄膜シリコン)

薄膜シリコンは日本が強みを発揮している分野の一つであることは今回カネカが PVSEC アワードを受賞したことから見て取れる。この分野では 3 つのポイントが挙げられる。一つは高効率化であり、多接合化と光閉じ込めが鍵である。多接合化においては a-SiO₂、3C- μ c-SiC、 μ c-SiGe などの新材料に関する報告があった。産総研からは感度領域を拡大する μ c-SiGe をもちいた太陽電池に関する報告があり、24mA/cm² の電流が 1 ミクロンの膜厚で得られ、6.3%の効率を得たと報告した。これは過去にこの材料を用いて報告されたもっとも高い値である。高効率化のもうひとつの方策は透明導電膜の光閉じ込めである。旭硝子は二重テクスチャという新しい技術を開発し、広い波長範囲で高いヘイズ率を有する透明導電膜を開発した。また水素をドーピングした高移動度の透明導電膜についても KOREA 大学と産総研から報告があった。もうひとつは高速製膜技術である。産総研が開発した高压枯涸法により量産レベルでも 2nm/s を超える高速製膜が実用化されているが、それでも 2 ミクロンの膜厚を得るには十数分を要する。これを 3 分程度に短縮するためには最低でも 8nm/s が必要である。大阪大学はサブストレート型ではあるが、8nm/s の製膜速度で 6.3%の効率を報告した。三洋は局所プラズマという新しい方法で 1.5nm/s の製膜速度で、単接合 7.6%、タ

ンデムで 11.4%の効率を達成した。最後は大面積装置によるフルターンキーである。米国 AMAT は基板面積 5.7m² の大面積クラスター装置を用いたフルターンキーを紹介した。220A/min の製膜速度でアモルファス単接合セルで安定化効率 7.6%、タンデム型で安定化効率 9.4%を達成している。4.4m² 基板上でのセル効率の分布では 8.8%の安定化効率が得られている。

今後フルターンキー組とインハウス組で製品の性能とコストの両面で競争が繰り広げられると予想される。

3. 6 エリア 5 化合物薄膜 CIS、CdTe

このエリアでは注目すべき発表がいくつか見受けられた。一つはホンダが長らくの沈黙を破って、その全容を発表した。注目すべきは同社が基礎研究から数えて 10 年近い歳月を費やしてきたこと、セレン化法自体は目新しくは無いが、車の塗装技術を応用したナトリウム添加方法、InS 系のバッファ層など独自技術が随所に盛り込まれ、先行する昭和シェルソーラーにほとんど引けを取らない性能を得ている。73x92cm² のサブモジュールで 13.9%の効率を得ている。昭和シェルソーラーは 30cm 角で 14.3%の効率を得ている。CIS はフレキシブルの研究も活発で、HMI、産総研、青山学院大学からそれぞれプロセス温度は違うので優劣は簡単に付けられないが、11.8、14.1、16.9%の効率を発表した。ナノソーラー、ISET は低コストが期待されるナノパーティクル技術による量産化計画を報告した。大面積モジュールの発表はなかったが、小面積ガラス基板上で、それぞれ 13.95、13.7%の効率を得ている。

もうひとつの注目は CdTe である。日本では公害問題で、Cd は敬遠されるが、ドイツでは管理された場所での設置と、完全リサイクルを前提として急速に生産を拡大している。ファーストソーラー社は近々 900MW まで生産を拡大すると発表した。これが実現すれば薄膜太陽電池会社として世界最大となる。CdTe はバンドギャップが太陽電池として最適な 1.4eV 程度のバンドギャップを有し、簡単なプロセスで高速に製膜できるという点では非常に優れた材料である。また Cd 自体は毒性があるが、CdTe は安定な材料で毒性は無い。火災のときも両面ガラスサンドイッチ構造にしておけば Cd が蒸発飛散することも無いことが確認されている。2007 年にすでに製造コストとして 1.19USD/W を達成したと公表している。これが事実なら他の薄膜太陽電池にとっては極めて手ごわい相手といえよう。今後長期安定性、リサイクルコストの見積り精度などによって将来の状況は変わりうるが、当面 CdTe 太陽電池の動きからは目が離せないであろう。

3. 7 エリア 6、7、8

このエリアでは OITDA として注目すべきトピックスは二つある。一つは標準化と評価の問題である。立命館大学からはさまざまな材料の太陽電池に対する屋外性能の評価方法と結果について発表があった。温度、スペクトルに対する応答性をそれぞれの材料について解析した。今後多様な太陽電池が市場に投入されることを考えるとこのような研究の重要性はさらに増すと考えられる。屋外信頼性評価も重要なトピックスであるが、TUV は最近日本にテストラボを開設したが、海外での 12 年間にわたる屋外暴露テストの結果を紹介した。このようなテストは一朝一夕にできないが、太陽電池の信頼性向上のためのノウハウ開発には必要不可欠な試験といえる。もうひとつの話題は国ごとの研究開発プログラムの違いである。今回ドイツとアメリカから研究開発に対するアプローチの違いが明確化されたといえる。ヨーロッパ、ドイツは非常に実効性を狙った近未来的なターゲットを設定しており、一方アメリカはかなり先の夢の技術をターゲットしている。アメリカでは日本のコストターゲットを前倒して 2015 年に実現するとしており、目標と内容の乖離が感じ

られる。

4. おわりに

今、太陽光発電は環境への関心の高まりを受けて非常に注目度が高い。ヨーロッパでは 3000 人を越える参加者が毎年集まる。その余波を受けて PVSEC-17 でも 1400 人を越える参加者を得た。それ自身は大変喜ばしいことである。しかし、この状況はドイツやヨーロッパでの補助金制度に負うところが大きいということを留意すべきである。いわば人工的に作られたマーケットである。もちろん将来への備えとして太陽光を拡大普及させることに異論はないし、そのことは大変好ましいことだといえる。しかしその一方で投機的な動きが強いことも事実であり、健全な成長、健全な競争を阻害している節もある。せつかくここまで成長した太陽光発電をさらに健全に発展させるための方策を忘れてはならない。

最終日には発表された論文の中から優れた発表に対して各エリアから論文賞、若手奨励賞、ポスター賞が選ばれた。受賞論文は以下の通りである。若手論文賞、ポスター賞は紙面の都合上省略する。詳しくは <http://www.pvsec17.jp/program/closing.pdf> を参照されたい。

論文賞

エリア 1 **40-A3-02 SCANNING PROBE MICROSCOPE STUDY OF DYE-SENSITIZED TiO₂(110)**

A. Sasahara^{1,2}, M. Ikeda¹, N. Koide³, L. Han³ and H. Onishi¹

¹Kobe University, Japan, ²Japan Science and Technology Agency, Japan, ³Sharp Corporation, Japan

エリア 2 **60-B11-03 DEVELOPMENT OF SPACE SOLAR SHEET**

T. Kodama¹, H. Yamaguchi¹, N. Takahashi¹, T. Agui¹, H. Washio¹, K. Nakamura¹, T. Hisamatsu¹,
T. Takamoto¹, K. Shimazaki², M. Imaizumi² and K. Kibe²

¹SHARP Corporation, Japan, ²Japan Aerospace Exploration Agency, Japan

エリア 3 **60-M5-01 HIGH EFFICIENCY MULTICRYSTALLINE SILICON BACK CONTACT SOLAR CELLS**

N. Nakatani, T. Sakamoto, K. Fukui and K. Shirasawa

Kyocera Corporation, Japan

60-M4-01 22%-EFFICIENCY HIT SOLAR CELL

Y. Tsunomura, Y. Yoshimine, M. Taguchi, T. Kinoshita, H. Kanno, H. Sakata, E. Maruyama and M. Tanaka

SANYO Electric Co., Ltd., Japan

エリア 4 **50-B6-01 LIGHT SCATTERING EFFECTS OF HIGHLY TEXTURED TRANSPARENT CONDUCTIVE OXIDES FILMES**

N. Taneda, M. Kambe, T. Oyama and K. Sato

Asahi Glass Co., Ltd., Japan

5O-B7-02 THIN FILM SOLAR CELLS BASED ON MICROCRYSTALLINE SILICON-GERMANIUM NARROW GAP ABSORBERS

T. Matsui¹, C.W. Chang¹, T. Takada^{1,2}, M. Isomura², H. Fujiwara¹ and M. Kondo¹

¹National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), Japan, ²Tokai University, Japan

エリア 5 6O-A11-02 MASS-PRODUCTION TECHNOLOGY FOR CIGS MODULES

K. Matsunaga¹, T. Komaru¹, Y. Nakayama¹, T. Kume², and Y. Suzuki²

¹Honda Engineering Co.,Ltd., Japan, ²Honda Soltec Co.,Ltd., Japan

エリア 6 6O-A10-02 DIFFERENCE IN THE OUTDOOR PERFORMANCES OF BULK AND THIN-FILM SILICON BASED PHOTOVOLTAIC MODULES

T. Minemoto, S. Fukushige and H. Takakura

Ritsumeikan University, Japan

エリア 7 5O-C8-01 PERFORMANCE OF GRID CONNECTED PV INVERTERS DURING DISTURBED GRID CONDITIONS - CURRENT STATE OF PLAY & RECOMMENDATIONS FOR OPTIMAL PRODUCT DESIGN

R. Bruendlinger, B. Bletterie and C. Mayr

arsenal research, Austria

エリア 8 6O-C9-05 ENVIRONMENTAL POTENTIAL OF VERY LARGE SCALE PHOTOVOLTAIC POWER GENERATION (VLS-PV) SYSTEMS ON DESERTS

K. Komoto¹, M. Ito², N. Yamashita³ and K. Kurokawa³

¹Mizuho Information & Research Institute, Inc., Japan, ²Tokyo Institute of Technology, Japan, ³Tokyo University of Agriculture and Technology, Japan