

第 26 回米国電気電子学会 (IEEE) 報告書

1997.10.11(10.7:速報 1, 10.9:速報 2)

東京農工大学工学部

黒川 浩 助

1. 渡航目的

第 26 回米国電気電子学会(IEEE)主催の太陽光発電専門家会議に出席し、研究発表を行うとともに、関連分野の技術動向を調査する(私費研修扱い)。

2. 会議開催期間・場所

1997年9月29日(月)~10月3日(金)

アメリカ アナハイム マリオット・ホテル会議場

3. 本会議の概要・トピックス

(1) 全体概要

もっとも古くから IEEE 主催で開催されてきた、太陽電池専門家のための事実上の国際会議であり、日本、欧州からも多くの研究者の参加が見られる。今回の登録者は 650 名であり、日本から 80 名の参加があった。

会議の構成は特別セッションと一般セッションに大別される。特別セッションは月曜日に開催されたチュートリアル(4コース:薄膜太陽電池、PV 光学系、薄膜太陽電池モジュール、宇宙応用)、補助プログラム(国際計画、建物一体 PV)、高校生コンペからなる。また、PV 展示会(Exhb.)が併設された。水曜の早朝には 5km マラソン、木曜の夜にバンケットが開催された。

一般講演は、1.結晶シリコン系、2.II-VI 族系、3.アモルファス・薄膜シリコン系、4.宇宙用・III-V 族、5.地上モジュール・要素機器(GPL, PL5, OR5A, OR5B, OR5C, PO5A, PO5B)、6.地上システム(GPL, PL6, OR6A, OR6B, OR6C, PO6A, PO6B)のように分類されている。前回のワシントン大会に比べると、国家プロジェクト、市場問題はなくなり、残った技術セッションもコンパクトに整理されて縮小均衡という感を受ける。チュートリアルや特別セッションも縮小された。アカデミックな学会スタイルへ回帰しようという大会議長バソール博士のポリシーの故であろうか。

論文投稿数は、全体で 340 件、レイトニュース 18 件で、合計 358 件であった。開会講演では 6 分野から一件ずつ、1.結晶シリコン系 68+5 件(20.1%)、2.II-VI 族系 64+5 件(18.9%)、3.アモルファス・薄膜シリコン系 52+3 件(15.3%)、4.宇宙用・III-V 族 63+3 件(18.6%)、5.地上モジュール・要素機器 41+1 件(11.8%)、6.地上システム 47+0 件(13.6%)の論文件数分野別内訳であった。システム系(5., 6.)の合計 88 件は全体の 1/4 強で EU-PSEC の 1/2 強に比較して少ない。なお、EU-PSEC 14(バルセロナ)の全投稿件数は 819 件、前回 IEEE-PV 25(ワシントン)の総論文投稿数は合計 382 件であった。

日本からの発表は、全体で 29 件(1.が 3 件、2.が 3 件、3.が 6 件、4.が 9 件、5.が 3 件、6.が 5 件)であった。そのうちシステム系は 8 件で、内訳は、東京農工大(黒川)他からフィールドテスト評価(OR6A/298)、大同ほくさん等から調色セルを用いたガラスカーテンウォール建材一体形(OR6C/308)、NEDO から建材一体型プロジェクト報告(PO6A/321)、関西電力からトランスレスインバータの系統への直流注入(PO6B/298:取消)、豊田工大から光熱住宅(PO6A/316)、東京農工大(斉藤研吉岡他)から非追尾集光モジュール(PO5A/274)、国際共同研究(JQA・電総研含む)として PEP ラウンドロビン評価、JQA からモジュール用 EVA 材料の黄化(PO5B/293-A)。(なお、東京農工大は上記システム系の他に、アモルファス系(上迫研)発表および結晶 Si 系司会(斉藤)があった。5km 早朝マラソン"TUAT"チーム参加・18 チーム中 5 位。)

(2) 会議トピックス

以下は、閉会セッションでのコンファレンス・サマリーから主なシステム系トピックス等を抜き出したものである。

モジュール・BOS: ソラレックス社・エバーグリーン社・NRE社・ASE社のモジュールコスト低下関連技術、米国ミリオンルーフ計画、ユニソーラー社のモジュールリサイクル、東京農工大他の集光モジュール、NRELのEVA改良。

システム: ISP G.のトレーニング計画、米国NEC-1999改正、ウィーン大学のルーフトップPV評価、UPVG/DOEの総合レポート。

結晶系シリコン太陽電池: Fh-ISEの17%以上の多結晶太陽電池、UNSWの18.2%のFZ-like、ANUの>18%、アストロパワー社の16%、U. Konstanzおよび京セラの多結晶セル、Georgia Techの20%FZセル、PECVD、MIS/IL >18%、Fh-ISEのp型結晶シリコンのライフタイム。

アモルファス・薄膜太陽電池: USSの13%安定化効率、SMWの製造プラントなど。

宇宙: マーズパスファインダー、TPVなど。

ポスター賞: 6分野各1件でシステム系等は以下の通り。

- ・ [PO5B/291] W. Knaup/ZSW: Evaluation of PV module designs at irregular operation conditions.
- ・ [PO6A/314] T.Q. Dung/SOLARLAB: PV technology and success of solar electricity in Vietnam.

次々回のIEEE-PVSPCはアンカレッジで2000年9月18-22日の予定。(米国本土から航空運賃が\$200~\$500である。)

(3) モジュールリサイクル等発表の印象

モジュールリサイクルで3件、LCAで1件の発表があった。昨年のPVSEC-9(宮崎)でモジュール・リサイクルをシンポジウムトピックスに加えた効果が出てきたということか。大量普及を目指していくとき、大切な要素技術であり好ましい傾向と感じた。

[PL5/256] C. Eberspacher, UNISUN: Disposal and recycling of end-of-life PV modules.

- ・ モジュールの廃棄とリサイクル。残念ながら未聴講。

[PO5A/282] I. Anisimov, et al, Solar Cells, Inc.: Possibility of recycling silicon PV modules. [論文入手]

- ・ シリコン太陽電池モジュールのリサイクルの一方法を提案した。基本的には加熱によりEVAを溶融滴下させ、セルを分離する。ガラス基板はきれいに回収され再使用が可能である。回収したセルはもと12.80%あった(ラミネート前)効率が、10.73%に低下した(16%の低下)。この温度程度では、リンとボロンの拡散は十分小さい。電極からの銀の拡散が主要因ではないかと推測している。今後、処理時間の短縮と温度低下をねらう。

[PO5A/279] R. Goozner, et al, Drinkard Metalox, Inc.: A process to recycle thin film PV materials. [論文入手]

- ・ CdTe, CIS系薄膜太陽電池の材料リサイクルプロセスの提案。
- ・ US EPAのTCLP(毒性溶解試験手順)を実際のCdTe, CIS, Siのラミネート品やモジュールを入手・適用してみると、CdとSeについてはEPAの限界1mg/L以下をクリアするが、鉛についてはSiモジュールからも規制値を超える鉛溶出がある。非鉛半田や半田レス接続の採用が望まれる。
- ・ CdTeの回収は、セルを硝酸溶液でリーチし、ガラスを回収、溶液を電解してテルル金属を回収。さらに熱分解により、CdOで回収する。CISセルは硝酸でリーチし、ガラスを分離する。電解工程を熱分解し、固体はCd金属とCu・Se金属に分けて回収する。溶液は400度で熱分解しZnO/InO混合物を取り出す。
- ・ パイロットプラント実証を1998年に実施予定である。また、CdTeとCISの両プロセスを結合することなどを目指している。

[PO6B/331] A.E. Baumann, R. Hill, K.M. Hynes, Univ. of Northumbria, UK: Environmental impacts of PV systems - Ground-based VS BIPV. [論文入手]

- ・ 地上置き架台型太陽光発電と建物一体型太陽光発電のライフサイクル分析。地上置き

はトレド 1MW システムのデータを用いた(ケース1)。建物一体はニューカースルの大学の建物の 40kW システムである(ケース2)。また、後者を同面積の CdTe モジュールに置換した 29.3kW システムを想定した(ケース3)。

- ・ 投入エネルギー量は、1、2、3の順に小さくなる。2は1の2/3、3は1の1/5程度。EPTはそれぞれ、4.3年、6.9年、2.3年となった。
- ・ CO₂ 放出は、1kWh 当たり各々、88kg, 143kg, 50kg とケース2が顕著に高い。また SO₂, NO_x も算出した。

(4) その他モジュール関係発表の印象

モジュール充填材や保護膜の改良の発表があった。

NREL の黄化防止のための EVA 改良、バックシートの構成材料の改良によりフレームレス化や設置の簡易化をねらったエバグリーン社の発表が目についた。日本のモジュール界のようにこれら材料に対して受け身でなく、材料開発に踏み出していく姿勢が印象に残る。日本からは JQA の EVA 黄化データがレイトニュースで入った。

- ・ [OR5A/261] F.J. Pern, S.H. Glich/NREL: Improved photostability of NREL-developed EVA pottant formulations for PV module encapsulation.
- ・ [OR5/259] J.C. Hanoka, et al/Evergreen Solar, Inc.: Low cost module and mounting systems developed through Evergreen Solar's PVMaT Program. [論文入手]

AC モジュールについては、米国ではすでに NEC (国家電気技術基準) に取り込む改正内容の発表があった。(また、IEA Task 5 のワークショップ(9月チューリッヒ)の発表ではオランダも同様)これに比べ、日本の AC モジュールの状況は、ハード・インフラ双方とも致命的に遅れている。

(5) フィールドデータ・システム評価関係発表の印象

SMUD の PV パイオニアでは、1993年から1996年までそれぞれ、108システム(計400kW)、119(400kW)、25(87kW)、80(329kW)を建設した。そのうち、修理・交換に到ったモジュール故障は各年それぞれ、27件、8件、18件、15件となり、合計68件発生した。インバータ事故は、24件、8件、18件、15件、合計65件であった。建設上の不具合は、0件、1件、3件、2件、合計6件。インバータ事故の発生割合は多い。システム信頼性を定量化するための統計処理を行い、MTBF, MTTR(平均修理時間), Availability (稼働率)を求めた。WinR という分析プログラムを開発した。

これからの導入時代でのシステム事例が増加し、母集団が大きくとれるようになるので、このような評価が大きな価値を持ってくる。国内既存のデータでもこのような形で早急に整理すべきだ。

- ・ [GPL5/253] A.B.Maish, C. Atcity/Sandia N.L., S. Hester/UPVG, D. Greenburg/Ascension, D. Collier, M. Brine/SMUD: Photovoltaic system reliability. [論文入手]

Georgia Tech のオリンピックプールの屋根システムはカーブした屋根アレイであるため、入射エネルギー量の定義が従来のものが適用できない。傾斜角は南 13~北 10 に連続変化している。新しい定義を採用するとともに、単一傾斜角アレイに対する減少率(損失側)を曲面ミスマッチ率として分析評価した。曲面ミスマッチ率 K_{curv} は、平均の傾斜角を持つアレイの PV 出力に対する曲面アレイの出力の比を用いた。南と北面は別々に取り扱った。測定値からの推定では、季節により 0.020 ~ -0.004 に変化する。これに対しモデル解析では 0.009 ~ 0.001 で傾向に相違が見られる。

本論分は、黒川が提起してきた「曲面日射問題」の解決の一つのアプローチとして評価できるが、南北別々に取り扱うことは完全な解決にはならないと考える。

- ・ [OR6C/310] M.E. Ropp, et al/Georgia Tech.: Determination of the curvature derating factor for the Georgia Tech Aquatic Center photovoltaic array. [論文入手]

ファサードのシミュレーション結果で、南向きより東または西向きの方がよいという興味ある分析がある。実験データでも、東南、南面、西南のケースで比較し、東南、西南の方がよい結果を与えている。ドイツの緯度での話か他の緯度でもそうなるのかチェックする必要ある(渡航報告者)。

- ・ [PO6A/322] W. Hiller, et al/Techn. Univ. of Chemnitz: Optimization of the PV-yield in solar facades

by different directions.

そのほか、建物一体型 AC モジュールの部分日影の予測（2件の共同論文）、モジュールと日射計の汚れ（ソiling）、シリコンフォトダイオードセンサは瞬時値の新校正法の提案、PVUSA における I-V カーブを測定しない MPPT ミスマッチの評価法を特記しておく。

- [PO6B/336] M.A. Gross/Fachhochschule Heilbronn, et al: Estimation of output enhancement of a partially shaded BIPV array by the use of AC modules.
- [PO6B/340] T. Blewwett, et al/Univ. of Northumbria: Heliodon prediction of shading on building integrated photovoltaic systems/
- [OR5C/269] R. Hammand, et al/Arizona State Univ., et al: Effects of soiling on PV module and radiometer performance.
- [OR6B/307] D. King/Sandia NL: Silicon-photodiode pyranometers: Operational characteristics, Historical experiences, and new calibration procedures. [論文 NCPV から入手可能]
- [OR6A/299] C.M. Whitaker, et al/Endecon, et al: Application of a new performance characterization method for photovoltaic arrays. [PVUSA/1996 レポートあり/論文 NCPV から入手可能]

(6) 太陽光発電ナショナルセンター National Center for Photovoltaics (NCPV)

NCPV は、NREL とサンディアの資源を結合して、1996 年 11 月に DOE により設立された。趣意書によれば、米国の太陽光発電産業が地球的指導力を維持できるように活動している組織間の同盟（組合）を目指している。今後、大学、PV-COE、産業などを含めた同盟へ拡張しようという方向性をうたっている。本部は NREL に設置された。現在のところ PV の総合広報センターという程度の活動実体か。

現在の主な活動分野は以下の通りとしている。材料・デバイス開発、モジュール・システム開発、計測・分析、性能・信頼性試験、製造・開発、市場開発・拡張、太陽資源分析。展示では NREL ではなく NCPV としてブースが設けられていた。実際にこれらの分野に NCPV がどのように関わっていくのかよく分からないが追跡調査の必要性がある。

ウェブサイトは、<http://www.nrel.gov/ncpv> である。今回の NREL およびサンディアの論文もここから筆頭著者で検索して得られるので、従来の NREL 論文集はなくなった。なお、関係論文 45 件のリストは入手した。（帰国後、アクセスを試みたが、まだ数件程度しか論文を入手できていない。）

4 . 一般講演聴講メモ

A. モジュールリサイクルおよび LCA 等マクロ分析

- (1) [PL5/256] C. Eberspacher, UNISUN: Disposal and recycling of end-of-life PV modules. モジュールの廃棄とリサイクル。残念ながら未聴講。
- (2) [PO5A/282] I. Anisimov, et al, Solar Cells, Inc.: Possibility of recycling silicon PV modules. [論文入手]
シリコン太陽電池モジュールのリサイクルの一方法を提案した。基本的には加熱により EVA を溶解滴下させ、セルを分離する。
加熱条件は石英管中の窒素フロー雰囲気、500 ~ 520 度 1 時間である。うまく燃焼の抑制はできた。
ガラス基板はきれいに回収され再使用が可能である。回収したセルはもと 12.80% あった（ラミネート前）効率が、10.73% に低下した（16% の低下）。この温度程度では、リンとボロンの拡散は十分小さい。電極からの銀の拡散が主要因ではないかと推測している。今後、処理時間の短縮と温度低下をねらわなければならない。
- (3) [PO5A/279] R. Goozner, et al, Drinkard Metalox, Inc.: A process to recycle thin film PV materials. [論文入手]

CdTe, CIS 系薄膜太陽電池の材料リサイクルプロセスの提案。

US EPA の TCLP（毒性溶解試験手順）を実際の CdTe, CIS, Si のラミネート品やモジュールを入手・適用してみると、Cd と Se については EPA の限界 1 mg/L 以下をクリアするが、鉛については CIS ストリングから規制（5 mg/L）の 7 倍以上の溶解が見られた。Si モジュールからも規制値を超える鉛溶出がある。非鉛半田や半田レス接続の採用が望まれ

る。

CdTe の回収は、セルを硝酸溶液でリーチし、ガラスを回収、溶液を電解してテルル金属を回収。さらに熱分解により、CdO で回収する。オフガスは戻され硝酸が回収される。

CIS セルは硝酸でリーチし、ガラスを分離する。電解工程を熱分解し、固体は Cd 金属と Cu・Se 金属に分けて回収する。(後者は酸化・蒸留により CuO と SeO に分離する。) 溶液は 400 度で熱分解し ZnO/InO 混合物を取り出す(後工程で精製)。オフガスは戻され硝酸が回収される。

パイロットプラント実証を 1998 年に実施予定である。また、CdTe と CIS の両プロセスを結合することなどを目指している。

- (4) [PO6B/331] A.E. Baumann, R. Hill, K.M. Hynes, Univ. of Northumbria, UK: Environmental impacts of PV systems - Ground-based VS BIPV. [論文入手]

地上置き架台型太陽光発電と建物一体型太陽光発電のライフサイクル分析。地上置きはトレド 1MW システムのデータを用いた(ケース 1)。建物一体はニューカースルの大学の建物の 40kW システムである(ケース 2)。両方とも多結晶シリコンである。また、後者を同面積の CdTe モジュールに置換した 29.3kW システムを想定した(ケース 3)。

投入エネルギー量は、1、2、3 の順に小さくなる。2 は 1 の 2/3、3 は 1 の 1/5 程度。EPT はそれぞれ、4.3 年、6.9 年、2.3 年となった。

CO₂ 放出は、1kWh 当たり各々、88kg, 143kg, 50kg とケース 2 が顕著に高い。また SO₂, NO_x も算出した。

- (5) [OR6B/303] A. Rosenthal, et al/Southwest Tech. Development Inst., M. Thomas, et al/Sandia NL: Economic analysis of PV hybrid power system: Pinnacles National Monument. [論文 NCPV から入手可能]

ピンナクル国立モニュメントの DG ハイブリッドシステムの動作解析。

同システムは既存の DG による供給システムを置き換えた。PV 導入、DG 小型化、負荷の省エネルギー化を行った。

9.6kW の PV 容量、運転特性の解析と 20 年のライフサイクルコスト分析。総現在価値はベースケースが \$294,767 に対し、PV ハイブリッドが \$211,207 であり、両ケースの燃料消費を比較する。10 年で両者がバランスし、以後 PV ハイブが有利になる。

両ケースの CO₂ の排出は、59.3 トンと 8 トンである。SO₂, NO_x 含む外部コストは \$1,085 と \$146 に相当する。

- (6) [OR6C/311] J. Byrne, et al: Building integrated photovoltaics: market and policy perspectives. [論文 NCPV から入手可能]

BIPV 導入ベネフィット分析を行った。スプレッドシートモデルパッケージを開発した。

B. フィールドデータ・システム評価

- (1) [GPL5/253] A.B.Maish, C. Atcity/Sandia N.L., S. Hester/UPVG, D. Greenburg/Ascension, D. Collier, M. Brine/SMUD: Photovoltaic system reliability. [論文入手]

SMUD の PV パイオニア計画におけるフィールドデータに対しシステム信頼性を定量化するための統計処理を行い、MTBF, MTTR(平均修理時間), Availability(稼働率)を求めた。WinR という分析プログラムを開発した。

フィールドデータは、システムデータとして、運転モニタデータ、設計データがあり、事故データとして、システム名、故障発生日付、修理完了日付、故障タイプ、修繕費用が必要になる。さらに、システム設計データや部品点数・タイプ、モニタリング開始・終了日付も必要である。

PV パイオニアでは、1993 年から 1996 年までそれぞれ、108 システム(400kW)、119(400kW)、25(87kW)、80(329kW)を建設した。そのうち、修理・交換に到ったモジュール故障は各年それぞれ、27 件、8 件、18 件、15 件となり、合計 68 件発生した。インバータ事故は、24 件、8 件、18 件、15 件、合計 65 件であった。建設上の不具合は、0 件、1 件、3 件、2

件、合計 6 件。インバータ事故の発生割合は多い。

前項データを、MTBF と MTTR に直すと、各年に対し、7 年、16 年、11 年、16 年であり、また、216 日、78 日、108 日、173 日に対応する。

保守費コストは 10 セント/kWh であった。

- (2) [OR6C/310] M.E. Ropp, et al/Georgia Tech.: Determination of the curvature derating factor for the Georgia Tech Aquatic Center photovoltaic array. [論文入手]

Georgia Tech のオリンピックプールの屋根システムはカーブした屋根アレイであるため、入射エネルギー量の定義が従来のものが適用できない。傾斜角は南 13 ~ 北 10 に連続変化している。新しい定義を採用するとともに、単一傾斜角アレイに対する減少率（損失側）を曲面ミスマッチ率としてを分析評価した。

モデルでは、非常に多くの傾斜角に分割した多数サブアレイとして取り扱った。温度も考慮しつつ個々の I-V カーブを決定し、結線に従って全体の I-V カーブを合成する。同一傾斜角サブアレイ内では直列結線し、他はすべて並列決戦した。

設置されている日射計は南向きサブアレイの平均傾斜角と水平面の 2 台のみである。

曲面ミスマッチ率 K_{curv} を導入した。平均の傾斜角を持つアレイの PV 出力に対する曲面アレイの出力の比を用いた。南と北面は別に取り扱った。理論考察および実験データからの推察を行った。両者を比較したが、測定値からの推定では、季節（評価機関 4 月～8 月）により 0.020 ~ -0.004 に変化する。これに対しモデル解析では 0.009 ~ 0.001 で傾向に相違が見られる。

本論分は、黒川が提起してきた「曲面日射問題」の解決の一つのアプローチとして評価できるが、南北別々に取り扱うことは完全な解決にはならないと考える。

- (3) [PO6A/322] W. Hiller, et al/Techn. Univ. of Chemnitz: Optimization of the PV-yield in solar facades by different directions.

ファサードの場合、シミュレーション結果では南向きより東または西向きの方がよい。興味ある分析である。ドイツの緯度での話か他の緯度でもそうなるのかチェックする必要がある（渡航報告者）。

実験データでは、東南、南面、西南のケースで比較し、東南、西南の方がよい結果を与えている。

- (4) [PO6B/336] M.A. Gross/Fachhochschule Heilbronn, et al: Estimation of output enhancement of a partially shaded BIPV array by the use of AC modules.

建物一体型 AC モジュールの部分日影を取り扱った。

- (5) [PO6B/340] T. Blewwett, et al/Univ. of Northumbria: Heliodon prediction of shading on building integrated photovoltaic systems/
#336 と対をなす論文。日影の予測。

- (6) [OR5C/269] R. Hammand, et al/Arizona State Univ., et al: Effects of soiling on PV module and radiometer performance.

モジュールと日射計の汚れ（ソイリング）。

- (7) [OR6B/307] D. King/Sandia NL: Silicon-photodiode pyranometers: Operational characteristics, Historical experiences, and new calibration procedures. [論文 NCPV から入手可能]

日射計は高くシリコンフォトダイオードセンサによる代替がよくされる。PSP（エプリ社）が \$2,000 に対し、LI-COR ならば \$200 である。

分光感度の関係から、季節・日間変動が大きく校正が難しい。積分値は合わせやすいが、瞬時値は大きくはずれるときがある。

新校正法を提案した。エアマスと感度の 3 次近似、入射角と感度の 3 次近似を用いる。曇りの日の誤差は非常に大きくなる。

本方法では入射角（天頂角）を与える必要がある（年月日時刻から計算可）。

- (8) [OR6A/299] C.M. Whitaker, et al/Endecon, et al: Application of a new performance characterization method for photovoltaic arrays. [PVUSA/1996 レポートあり / 論文

NCPV から入手可能]

Endecon 社、サンディア、SMUD の共同研究。PVUSA の 3kW ~ 400kW の 14 システムのデータを用いて、I-V カーブを測定することなく、MPPT ミスマッチの評価を試みた。

- (9) [OR6A/300] T. Lepley/Phaser Energy Co., et al: Evaluation of tracking flat plate and concentrator PV systems.
追尾平板と集光システムの評価。

C. 途上国システム等

- (1) [GPL6/294] M.C. Fitzgerald/Inst. for Sustainable Power, Inc.: The infrastructure path to a sustainable world market for photovoltaics. [論文入手]

途上国 SHS のメンテのためのトレーニングとその認定・認証に関する講演。現地社会での訓練システムを確立することは、システム開発のコスト・時間を圧縮でき、全体の品質向上に資する。

これまで、アフリカ、インドネシア、インド、ケニア、モロッコ、ブラジル、米国、カナダ、オーストラリア、EC においての実績を有する。

プロジェクト開発、国際機関、フレームワーク、ミニマムな国別または地域別試験標準の必要性、GAP 活動、ハードウェア故障。

本トレーニング計画に参加が期待できる機関は、世銀、UNDP, UNESCO, US/DOE2 国間、投資家グループ、太陽光発電産業である。

- (2) [OR6B/304] J.L. Stone, et al/NREL, et al: The Indo-US Cooperative Photovoltaic Project. [論文 NCPV から入手可能]

インド=米国協力は対等 (50/50) ベースの 2 国間協力である。今回はカルカッタ近郊のサンダパール地域の村落電化の結果を発表。

SHS の価格は 14,000 ルピーで、3,000 ルピーの補助金が交付される。(1 ドルは 35 ルピー?; 400 ドルと 85 ドル)

2 枚モジュールと蓄電池のセットでまずトレーニングで組み立てる。これを自宅に持ち帰り屋根に設置する。

- (3) [OR6B/305] W.L. Wallace, Y.S. Tsuo/NREL: Photovoltaics for rural electrification in the People's Republic of China. [論文 NCPV から入手可能]

内モンゴルを含む中国西部地域の SHS。この地域の電化は PV 化の方向で進む。

米中で 220,000 ドルを用意した Gansu プロジェクト。中国側は農業省が窓口 (辺地の電力網は同省の管轄である)

同協力には、要素試験、トレーニング、資金供与、プロジェクトモニタリングを含んでいる。Gansu トレーニングセンタ (UNDP 資金) におけるトレーニングの実施。内モンゴルのシステムは小型風車とのハイブリッドが主体。

D. インバータ・その他 BOS

- (1) [PO6A/318] I. Cha/Dongshin Univ., Korea, et al: The characteristics of M.P.P.T temperature compensation of photovoltaic system with neural networks.

昇圧型チョッパを用いた DC/DC コンによる MPPT の制御方法。回路要素は L, C, トランジスタ 1 石、ダイオード 1 石のみ。

ニューラルネットを用いて MPPT の温度補償を実現した。

- (2) [PO6B/335] F. Goodman/EPRI, et al: Performance of a grid connected residential photovoltaic system with energy storage.

系統連系システムに蓄電池を備えたケースを実験した。

2.4kW の Solarex MSX-120 モジュールと、APT の 24V パワーセンタおよび Trojan L-16 蓄電池 24V, 1050AH に、Trace の 4kW, SineWave インバータを組み合わせた。データロガーは、SWYT1 を採用した。

運転モードは、まずアレイから蓄電池へ充電する。蓄電池容量はピーク負荷で 3 時間分

に相当。アレイ出力は日中ピーク 1500W 出る。これを夕方から負荷電力 3300W 程度で放電する。蓄電池の端子では 4200W になる。

システムイニシャルが\$2,000/kW 以下にならないと採算はとれない。

- (3) [PL6/296] W. Bower/Sandia N.L., et al: Photovoltaic industry proposed changes for the 1999 National Electrical Code for PV applications. [論文入手]

NEC の改正案が 1996 年 11 月にできた。SEIA に技術レビュー委員会 (SNL から 3 名、産業 3 名、SEIA が 1 名、UL から 1 名の計 8 名の委員 ; 電気事業がない) これをサポートする小委員会も組織された。

主な改正点は以下の通り。

配線の許容電流 (電流が日射強度に依存するので許容電流をディレートできる)、システム電圧 (温度と動作点で変化、配線の絶縁階級に影響、システム電圧 600V 以上の取扱い)追加、蓄電池、チャージコントローラ追加、UL リスト品の互換性、アレイ、建物配線、AC モジュールの追加、モジュラーインバータの追加、インバータの複数モード (自立運転など)、新モジュール、遠隔地システム、系統強化システム、照明システム、ハイブリッドシステム追加、発電・配電システム追加 (分散型コミュニティシステムのことと思われる)、連系点、インバータ入力回路、インバータ出力回路など変更か所は 59 か所に及ぶ。関連して、UL リストの改訂が必要である。

- (4) [OR6B/306] T.D. Hund/Sandia NL: Amp-hour counting charge control for PV hybrid power system. [論文 NCPV から入手可能]

AH 管理によるチャージコントローラの提案。過充電防止しながら高い SOC に保てる。寿命の延長が可能。

E. モジュール技術

- (1) [OR5/259] J.C. Hanoka, et al/Evergreen Solar, Inc.: Low cost module and mounting systems developed through Evergreen Solar's PVMaT Program. [論文入手]

エバグリーン・ソーラー社は、1994 年にモービルタイコの 3 人の技術者により設立された。現在ボストン近郊に会社があり、40 人の社員がいる。モジュール裏面保護に使われているテドラを代替してフレームレス化が容易なフィルムを開発した。現在 10,000ft²、0.5MW/年のモジュール生産能力がある。

フィルムは、2 ミルのテドラと 4 ミルの PET, 4 ミルの EVA の 3 層構造で、全体の厚さが約 1mm。特徴は、薄くて強いことである。熱可塑性を持つのでシールができる。40 ミルのシートはガラス、アルミ、ポリマーとよくボンドする。ラミネータ中でモジュールが完成できる。価格は\$1/ft²である。0.25\$/W にかかっているアルミフレームを消去できる。

モジュールの設置方法は裏面にマウントを接着する。アルミが特に接着性がよい。また、開発したフレームレスモジュールは、出力リードのボックスがなく、サイドから引き出して端面をレジンでモールドしている。

新材料は 300 C まで熱クリープしない。60 C で 308 時間、70 C で 216 時間、80 C で 168 時間、90 C で???時間の加熱試験にパス、モジュールは風圧 125Mph (56m/s)に耐える。また、-40 C ~ 80 C, 湿度 85%の温湿度サイクル 20 時間、IEC1262 試験を 10 サイクルに耐えた。

本構造のモジュールは、\$0.5/W のコスト削減が可能である。3 件の特許を有する。

- (2) [OR5A/260] J.M. Gee, et al/Sandia N.L.: Simplified module assembly using back-contact crystalline-silicon solar cells. [論文 NCPV から入手可能]

モジュールのストリング形成工程の単純化を図るために、セル裏面に p,n 両電極引き出しを持つ構造のバックコンタクト・セルを採用した。インターコネクタの代わりにバックシートに印刷電極をプリパターンニングして、ラミネート工程のみで配線が実現できる。著者はこの構造をモノリシック・モジュール・アセンブリと称している。

セルは、例えば三菱の MMA セルが使える。p⁺基板上に、n 電極、p 電極を平面的に交互に形成する。

ストリング配線の導体材料は、エポキシ系導電材料や鉛スズ（半田）が使える。前者ではサーマルサイクルを加えると電気抵抗が増加する心配があるが、今回の試験では 11.77% のセル効率のものを用いて FF は 0.663（セル）から 0.662（モジュール）と低下しない。宇宙用のモジュールに採用すれば 25% のコストダウンになる。

- (3) [OR5A/261] F.J. Pern, S.H. Glich/NREL: Improved photostability of NREL-developed EVA pottant formulations for PV module encapsulation. [論文 NCPV から入手可能]
NREL では黄化とモジュール効率低下のない EVA を開発した。
- (4) [OR6C/309] R. Platz/Princeton Univ., et al: Hybrid collectors using thin-film technology. アモルファスを用いた光・熱ハイブリッドモジュール。スイスとの共同研究。

太陽エネルギー吸収は通常の熱コレクタが $910\text{W}/\text{m}^2$ のところ、アモルファス太陽電池セルの表面吸収は $780\text{W}/\text{m}^2$ で低い。今回はアモルファス太陽電池セルの窓層として ZnO を用いれば 33W の熱ゲインが得られる。また、TCO は熱放射領域の放射率は小さい。アモルファス太陽電池の高温動作は効率低下が小さくアニール効果も期待できるのでむしろ好ましい。

試作した構造は、ZnO テクスチャ層 + nip 層 + 裏面反射膜 + 銅基板。銅基板中に熱媒体の流路を設けた。80 ~ 90 で動作可能である。

F. 太陽電池材料・デバイス

- (1) [GPL1/2] H. Lautenschlager, et al/Fh-ISE: Multicrystalline silicon solar cells with >17% efficiency.

多結晶シリコンでは、結晶転位、不純物・拡散長の不均一性が見られる。LBIC で調べると I_{sc} , V_{oc} の分布が検出できる。

多結晶セルのリン・ゲッタ等およびパッシベーションについてを今回報告した。820 C, 1hr, POCl_3 で処理すると、低拡散長領域は著しく改善が見られる。さらにアルミ・ゲッタを加え、820 C, 1hr, POCl_3+Al の条件の処理も試みた。

両面パッシベーションを採用したローカル BSF セル構造について調べた。6 つのセル構造について各種基板を入手し比較した。AR/オキサライド/ n^{++} エミッタ/LBSF のものとエミッタなしのものでは顕著な差があり前者が良好（バイエル、大同北産基板）。水素パッシベーションについては説明せず。

ユーロソーラーのもので、2 層 AR+両面パッシベーション+エミッタ+Al-BSF のものが、17.4% を達成した。

- (2) [OR5A/258] J. Cao, et al/ASE America: EFG manufacturing line technical progress and module cost reductions under the PVMaT Program.

PVMaT の 4A2 プログラムで実施されている EFG 開発の経過と今後の計画。

現在、ウェハ特性の向上、原料の自動供給、8 角形で厚さ 300 ~ 250 ミクロン、レーザーによる切り出しの 4 点が課題である。

さらに、10 角形、円筒への進展を期待している。円筒形の場合、フィルム上薄膜として形成し、一箇所をレーザーカットし広げて大きな平面セルとするアイデアを発表した。直径 1m 程度で 30mm/sec 程度の速度で回転しながら引き上げる。厚さの目標は 100 ミクロン以下である。\$1/W の基板を目標とする。

現在進めているのは、セル電極デザイン、テクスチャ ZnO による AR, マスク除去のための純水や化学剤の使用量の削減、インターコネクタ配線プロセス、光透過効率を高めるラミネート材料、ダイオードハウジング、フレームレスマウントの開発、EFG ダイの寿命の倍化、EFG 炉材グラファイトの高純度化、原材料自動供給、新レーザー切断装置などである。PVMaT の 4A2 段階で 10% のコスト低下をねらっている。

- (3) [GPL2/71] B.W. Birkmire/Univ. of Delaware: Recent progress and critical issues in thin film polycrystalline solar cells and modules.

薄膜多結晶 CIS、CdTe に関する講演。結晶シリコン 25MW/年で \$2/W という予測がある。

これを念頭に入れて、仮りに 10MW/年のラインを考えると、2~3 分で 80W 生産できなければならない。

ここでは、研究室で得られた実験結果に基づき、これを製造ライン化していくことについて考察した。通常、研究室の実験データが得られるとこの結果をエンジニアリング分析するために数学モデルを構築し、さらに商用スケールの装置開発に掛かる。

CIS 太陽電池にとって、クリチカルな課題は、膜成長モニタ方法、Na incorporation, 薄膜窓材料、低 Voc である。例として、CIGS の連続膜成長システムについて試設計した。膜厚と成分の均一性の確保がプロセス設計上重要である。

CdTe については、裏面電極を、Cu+metal の拡散でコンタクトする。

実験室段階のデータで製造プロセスを設計していくには、総合的な知識・データを必要とするので一機関で実施するのは困難が伴う。

- (4) [GPL3/736] J. Yang, et al/United Solar Systems Corp.: Recent progress in amorphous silicon alloy leading to 13% stable cell efficiency.

初期効率 14.6%, 安定化効率 13.0%.

重水素添加を試みた。SiD₄+D₄ ガスを導入し a-Si-D₂ を作成した。

A-Si, A-SiGe の三重セルを作成した。AR は ITO の一層である。

アモルファスの問題点は、弱いボンド、不純物、ボイド、三重セルの各層ミスマッチである。

- (5) [GPL4/189] D.N. Keener/Kirkland AFB, et al: Progress toward technology transition of GaInP/GaAs/Ge multijunction solar cells.

宇宙用 GaInP₂/GaAs/Ge の三重セルで 24~26%, 16cm² 以上、コストは現状 GaAs セルの 1.15 倍以内の目標で開発中である。MJ-1997 (フェーズ 1) では 24%, 2 2cm が目標、MJ-1999 (フェーズ 2) では 25%, 4 4.8cm である。W/kg で 33%増加、\$/W で 15%低下が達成できる。

すでにフェーズ 1 で、スペクトルラボが 24%以上を達成、テクスターが 22.4%。フェーズ 2 でスペクトララボのベストセル 25.7%、テクスターが 23.8%平均が得られている。

5. 補助プログラム: 建物一体形太陽光発電 (BIPV)

- (1) 本コースの企画立案者はソーラーデザインアソシエイツ社の Steven Strong 氏と同 Rob Erb 氏である。主として両氏が交互に、太陽光発電の基礎から建物一体型 PV についての入門から応用までを、8:15 から 17:00 まで講演・解説した。

太陽電池セル・モジュール技術について、電気特性、モジュール構造、結晶対薄膜、環境性などをやさしく解説。

システム技術について、DC 独立、AC/DC 独立、連系システムなど各種システム事例を解説した。

建物一体型システム事例について、建築デザイン、景観デザインとの調和が大切である。

日欧に比して、米国は建物一体型分野で大きく遅れをとっている。日本は長期展望に基づいて、住宅プロジェクトを進めてきた。米国は日欧をキャッチアップしつつある状態だ (Strong 氏の現状基本認識)。

- (2) 昼食後の特別講演として、サザン・カルフォルニア・エディソンの Stephan F. McKenery 氏 (研究課長) が電気事業の立場から太陽光発電の市場機会について将来動向を語った。

1998 年の同社の主要計画は、集光太陽光発電および商用・産業分野への導入である。

独立型、連系型の両方を対象にしている。

太陽光発電の現状の基本課題は、高コスト、アモルファス太陽電池の信頼性、グリーンパワーライジング、ミリオンルーフ計画、まとめ買い (aggregated purchase)、事業資金調達必要性、などである。

現在の市場への参入機会は、環境調和性、学校、建築デザイン性、建物一体型太陽光発電、途上国辺地の電化にある。

同社の平均電力単価は 11 cent/kWh である。2kW/戸が適当な PV 容量である。メーターは正逆回転を許している。(Strong 氏は同一電力単価でも PV 導入は電力会社にメリット (kW 価値) を生ずるのであるから矛盾はないはずと再三強調。)

5 . 収集資料

A. 本会議資料

- (1) Abstracts, 26th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, Marriott Hotel, Anaheim, Sept.29-Oct.3, 1997.
- (2) H. Lautenschlager, F. Lutz, C. Schetter, U. Schubert, R. Schindler / Fh-ISE: MC-silicon solar cell with > 17% efficiency, GPL1/2.
- (3) A.B. Maish/Sandia National Labs., et al: Phtovoltaic system reliability, GPL5/253.
- (4) M.C. Fitzgerald, M. Mrohs / Inst. for Sustainable Power, Inc.: The infrastructure path to a sustainable world market for photovoltaics, GPL6/294.
- (5) J.I. Hanoka, et al / Evergreen Solar, Inc.: Low cost module and mounting systems developed through Evergreen Solar's PVMaT Program, OR5A/259.
- (6) J.R. Bohland, I.I. Anisimov/Solar Cells, Inc.: Possibility of recycling of silicon PV modules, PO5A/282.
- (7) R.E. Goosner, et al/Drinkard Metalox,Inc.: A process to recycle thin film PV materials, PO5A/279.
- (8) A.E. Baumann, R. Hill, K.M. Hynes/Univ. of Northumbria: Environmental impacts of PV systems - Ground-based vs BIPV, PO6B/331.
- (9) R.L. Hammond, et al/Arizona State Univ., G.P. Corey, et al/Sandia NL: PV battery and charge controlles: Technical issues, costs and market trends, PO5A/280.
- (10) M.A. Gross/Fachhochschule Heilbronn, et al: Estimation of output enhancement of a partially shaded BIPV array by the use of AC modules, PO6B/336.
- (11) M. Fuentes, S. Roaf/Oxford Brooks Univ., UK: Integration of PV technology into the building environment: A model for the thermal regulation of PV-roof integrated systems, PO6B/337.
M. Fuentes, S. Roaf/Oxford Brooks Univ., UK: Optimising the thermal and electrical performance or roof integrated photovoltaics: case study, PO6B/337 related (14th EU-PSEC, July 1997?).
- (12) C. Jennings, G.J. Chang/PG&E, et al: AC photovoltaic module magnetic fields, OR5B/263.
- (13) S. Toyokawa, S. Uehara/NEDO: Overall evaluation for R&D of PV modules integrated with construction materials, PO6A/321.
- (14) C. Broecker, et al/Univ. Paderborn, Germany: Design of a photovoltaically operated reverse osmosis plant in off-grid operation for desalination of brackish water, PO6A/320.
- (15) 1996 PVUSA progress report, SMUD, OR5A/299 related.
- (16) S. Hester, et al/Utility Photovoltaic Group: The TEAM-UP Initiative: Status and results from the field, PL6/297.
- (17) W. Bower/Sandia N.L.: Photovoltaic industry-proposed changes for the 1999 national electrical code for PV applications, PL6/296.
- (18) M.E. Ropp, et al/Georgia Tech: Determination of the curvature derating factor for the Georgia Tech Aquatic Center photovoltaic array, OR6C/310.

B. 建物一体型太陽光発電ワークショップ

- (1) ワークショッププログラム
- (2) Solar electric buildings - An overview of today's applications, NREL, DOE/GO-10097-357, DE97000101, revised February 1997.
- (4) G. Kiss: Building-integrated photovoltaics, NREL contract No. DE-AC36-83CH10093, NREL/TP-472-7851, Jan. 1993.
- (5) G. Kiss, M. Raman: Building-integrated photovoltaics: A case study, NREL contract No. DE-AC36-83CH10093, NREL/TP-472-7574, March 1995.
- (6) G. Kiss: Optimal building-integrated photovoltaic applications, NREL contract No. DE-AC36-83CH10093, NREL/TP-472-20339, Nov. 1995.
- (7) List of recommended publications on photovoltaics.
- (8) Solar Design Associates, Brochure including Olympic village PV, University Laboratory PV, Airport terminal PV, Custom residence PV, Office building PV.
- (9) Sunup at last for solar - New technology powers a surge in investment, Business Week, pp.84-85, July 24, 1995.
- (10) H. Laaly: New roofing bible, Book sales brochure.
- (11) Solarex sales brochures:
The natural source for electricity - 1997-98 photovoltaic product catalog.
The natural source for electricity.
Powerful solutions - grid-tied utilities.
A powerful connection - remote utilities.
PowerWall photovoltaic modules.
MSX laminates.
Solar-electric products for buildings.
Solar electric design guide.
- (12) Sunlite Insulating Glass MFG. Ltd., Brochure.
- (13) Optisol, Pilkington, brochure.

B. 展示・その他資料

- (1) National center for Photovoltaics, NREL brochure. <http://www.nrel.gov/ncpv>
- (2) A guide to NCPV at the IEEE. (NREL とサンディアの今回論文のリスト)
- (3) The Fraunhofer ISE PV chart: Assessment of PV device performance, Ed.10.