

太陽電池モジュール信頼性評価 連携研究体の概要

平成23年10月3日

太陽光発電工学研究センター
太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体
研究体長
増田 淳

太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体のテーマ

設立：平成22年10月1日

目的：九州センターでの太陽光発電関連研究の円滑な運営と一層の発展に繋がる体制を構築

設備導入予算：平成21年度補正予算「施設整備費補助金 高度化改修費(太陽電池モジュール信頼性評価施設整備)」

研究テーマ：太陽電池モジュールの試作と信頼性評価

- ・高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム(民間企業等との共同研究)
- ・屋外曝露・発電量評価(NEDO)
- ・次世代に向けた信頼性試験法開発(NEDO)
- ・アジア基準認証推進事業(経済産業省補正予算)
- ・モジュール配線のプロセス管理に関する研究(所内研究)

九州センターでの研究実施体制

太陽光発電工学研究センター

九州センター

連携研究体

陣容

増田(全体統括)、土井(モジュール試作担当)、河合(NEDO研究担当)、石井(屋外評価担当、つくばと兼務)、柄澤(モジュール試作担当)、井上(モジュール試作担当)、内山(モジュール試作担当)、佐藤(屋外評価担当)、城内(信頼性評価担当)、宮内(PVTECパートナー研究員)、橋本(顧問、モジュール試作指導)、藤田(アシスタント)

第II期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム
A会員、B会員、協力機関の共同研究員(約50名)

太陽電池モジュール信頼性の研究開発を九州で実施することの意義

- 九州には5社の太陽電池モジュールメーカーの工場が集積しており、太陽光発電が大きな産業分野として成長していくことが期待されている。
- さらには、半導体製造装置、電子部品・材料メーカーも集積しているが、太陽電池モジュールの製造技術は、これらのメーカーの製品群と密接に関連している。
- 九州で太陽電池モジュールの信頼性を研究開発することにより、これらのメーカーに成果を早期に還元できる。
- 九州に太陽光発電の研究者が常駐し、さらには九州経済産業局等と連携することにより、太陽光発電産業群の形成ならびに人材育成・人的ネットワークの構築に資することが可能となり、九州地域の経済活性化に貢献する。

九州センター内に整備した 主要設備の概要

フルサイズモジュール試作・評価ライン(その1)



結晶シリコン系太陽電池
モジュール配線装置
(エヌ・ピー・シー製)

- ・125 mm × 125 mmの2本バスバーセル、156 mm × 156 mmの2本もしくは3本バスバーセルに対応可能
- ・セル厚み160～350 μmに対応可能
- ・処理速度6.5秒/セル以内



大型真空ラミネータ
(エヌ・ピー・シー製)

- ・最大1.5 m × 2.4 mのサイズの太陽電池モジュールに対応可能
- ・ラミネート温度は30～180 °C ±10 °Cの範囲で制御可能
- ・プレス圧は0～1 kg/cm²の範囲で可変
- ・モジュール1枚あたりに要する処理時間は36分(内、ラミネート時間は16分)



ブチル塗布・フレーム取
付装置
(ノードソン製)

- ・最大1.1 m × 1.4 mのサイズの太陽電池モジュールに対応可能
- ・ペール缶用加熱溶解搬送機で溶かした材料を、ヒーター付きパイプを經由し、加熱型精密塗布機から所定量を吐出

フルサイズモジュール試作・評価ライン(その2)



薄膜系太陽電池モジュール自動配線装置
(エヌ・ピー・シー製)

- ・導電性粘着材付金属テープ、導電性ペースタブ、異方導電フィルムのいずれかで配線可能
- ・最大サイズ1.1 m×1.4 mの任意サイズの薄膜太陽電池セルに対応可能



電流－電圧特性評価装置
(ソーラーシミュレータ)
(日清紡メカトロニクス製)

- ・光源はXeランプ2灯(ランプ長: 1.3 m)で、パルス状発光(パルス幅100 ms)
- ・有効照射面積1.2 m×2.2 m
- ・JIS C8912「結晶系太陽電池測定用ソーラシミュレータ」に適合)



環境試験装置2台
(エスペック製)

- ・最大1.8 m×1.5 m×50 mmサイズのモジュールを同時に10枚試験可能
- ・温度制御範囲-40 °C～120 °C
- ・温度安定性85 °C±2 °C
-40 °C±2 °C

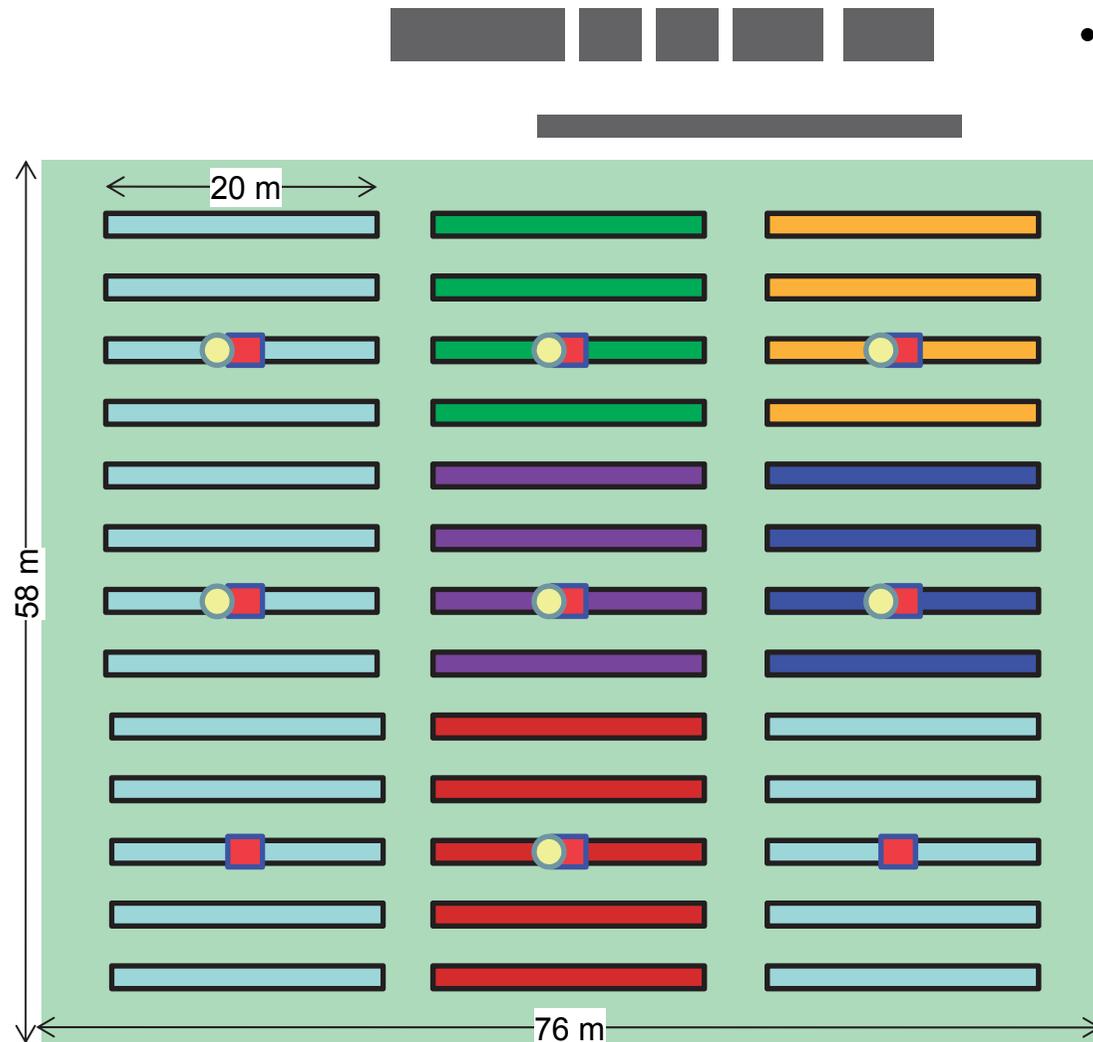
屋外評価拠点

- 産業技術総合研究所九州センターに太陽光発電システム屋外評価拠点を設置。
- 発電量評価と長期信頼性評価のためには屋外参照データが必要であるが、特に新型薄膜太陽電池は長期信頼性データが不足している。
- 佐賀県は日射条件に恵まれ、長期信頼性データを得るには最適の立地である。
- 各種太陽電池モジュールの屋外参照データを取得し、モード発電量を1ヶ月間の測定期間で5%未満の精度で算出する測定法を開発し実証する。
- 九州には新型薄膜太陽電池モジュール工場が集積するが、屋外評価拠点で得られた知見はこれらのメーカーの技術開発にも還元される。

太陽電池モジュール屋外試験装置のレイアウト

平成23年3月現在の配置

モジュール
測定棟



• 被試験PVモジュール: 5種 × 5 kW

- 単結晶シリコン ■
- 多結晶シリコン ■
- 薄膜シリコン(シングル) ■
- 薄膜シリコン(タンデム) ■
- CIGS ■

PVインバータ ■

- 10 kW × 9台
- マルチストリング(8入力)

PV計測 ○

- ストリングIVトレーサ 7台
- 10分毎に各ストリングのIV計測
- 日射量、気温

【太陽電池アレイ】

・5kW×5種=25kWから運転開始

- ・① 単結晶シリコン型: シャープ NU-180L、7直×4ストリング=28枚、公称最大出力5.04 kW、仕様《 Pmax: 180W, Voc:30.00V, Isc: 8.37A 》
- ・② 多結晶シリコン型: 京セラ KD2084X-PP1E-S、6直×4ストリング=24枚、公称最大出力5.00 kW、仕様《 Pmax: 208.4W, Voc:33.2V, Isc: 8.50A 》
- ・③ 薄膜シリコン型: 三菱重工業 MA100T2、2直5並×5ストリング=50枚、公称最大出力5.00 kW、仕様《 Pmax: 100W, Voc:141V, Isc: 1.17A 》
- ・④ 薄膜シリコン多接合型(タンデム): シャープ NA-HSL8G、5直2並×4ストリング=40枚、公称最大出力5.12 kW、仕様《 Pmax: 128W, Voc:59.8V, Isc: 3.45A 》
- ・⑤ CIGS型: ホンダソルテック HEM125PCA、2直5並×4ストリング=40枚、公称最大出力5.00 kW、仕様《 Pmax: 125W, Voc:280V, Isc: 0.66A 》

この他、カネカ(アモルファス)、カネカ(多接合)、ソリブロ(CIGS)の曝露を平成23年8月より開始

【電流電圧特性計測装置】

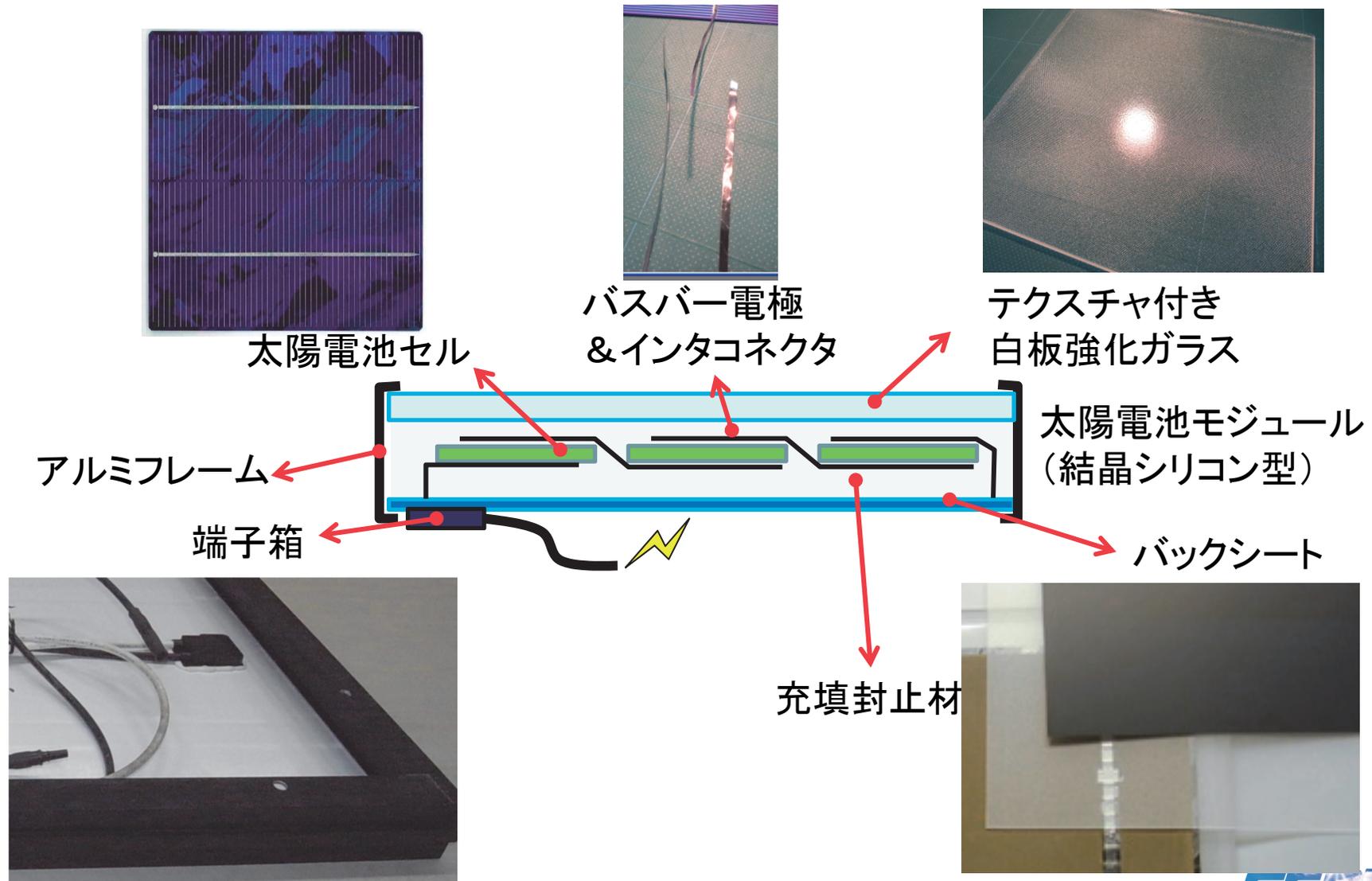
- ・日本カーネルシステム社の新規開発品
- ・通常、太陽電池モジュールは系統連系運転をしているが、パワーコンディショナと連動し、10分毎に各ストリングを10秒ずつ切り替えて、電流電圧(I-V)特性と太陽電池モジュール裏面温度を測定。これにより、パワーコンディショナによるAC発電量だけでなくDC側の発電特性が詳細に得られる。IEC 60891 Ed.2の方法で温度・照度補正を行った後に、室内測定値との比較によって、発電性能の変化傾向を精度良く分析可能とする。
- ・I-V測定: 電子負荷式。スイープ時間を10~1000msで設定可。スイープ方向を開放→短絡と短絡→開放の片方または両方を選択可。

高信頼性太陽電池モジュール 開発・評価コンソーシアム

「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

- 研究期間：平成21年10月1日～平成23年3月31日（第I期）
 - 構成：産業技術総合研究所、民間企業（33社）、連携機関（太陽光発電技術研究組合（PVTEC））、協力機関（10機関）
 - 対象とする太陽電池モジュール：結晶系、薄膜系
- 本コンソーシアムでは、産総研と参加企業が協力し、**太陽光発電コストの大幅低減を目的に、太陽電池モジュールの信頼性向上・長寿命化に必須の基盤技術をボトムアップさせることにより、わが国太陽光発電産業の国際競争力を強化する。**
 - **国内の大学・研究機関で唯一となる実用サイズに対応した太陽電池モジュールの試作・評価に関するプラットフォームを産総研が構築する。**当該プラットフォームを用いて、充填材、バックシート、配線材、シール材等の新規部材あるいは新規構造を適用した太陽電池モジュールを作製し、**当該部材・構造の有用性を実証する。**さらには、加速劣化試験と長期曝露試験の結果を比較検討し、モジュールの劣化要因を明確化する。
 - 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等と連携し、太陽電池モジュールに適用し得る**部材の基準策定、加速試験法の国際規格への反映**を図る。
 - コンソーシアム参加企業から派遣された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、**人材育成**に資する。

太陽電池モジュールの信頼性・寿命の支配的要因となる モジュール周辺部材の例



研究期間：平成21年10月1日～平成23年3月31日（第1期）

コンソーシアム長：近藤道雄（太陽光発電研究センター長）

参加企業（計33社）

旭化成ケミカルズ、旭硝子、アルバック、エスベック、大倉工業、カネカ、クラレ、
シーアイ化成、スリーボンド、積水化学工業、
ソニーケミカル&インフォメーションデバイス、ダイキン工業、大研化学工業、
ダイセル化学工業、大日本印刷、DIC、デュポン、電気化学工業、
東洋アルミニウム、東洋紡績、東レ、東レエンジニアリング、凸版印刷、
日産化学工業、日東電工、日立化成工業、富士フイルム、藤森工業、三井化学、
三井・デュポンポリケミカル、三菱樹脂、三菱レイヨン、リンテック

連携機関

太陽光発電技術研究組合

協力機関（計10機関）

エヌ・ピー・シー、菊水電子工業、Qセルズジャパン、コベルコ科研、
Saes Getters S.p.A、帝人デュポンフィルム、電気安全環境研究所、
東レ・ダウコーニング、YOCASOL、レーザーテック

コンソーシアムでの主な研究内容

1. モジュール作製

- ・ 結晶：単セルモジュール/4セルモジュール/フルサイズモジュール
- ・ 薄膜：18cm角モジュール/40cm角モジュール/フルサイズモジュール

2. モジュール信頼性試験

- ・ DH試験、TC/HF試験、TC試験、
その他（光照射・通電試験等）

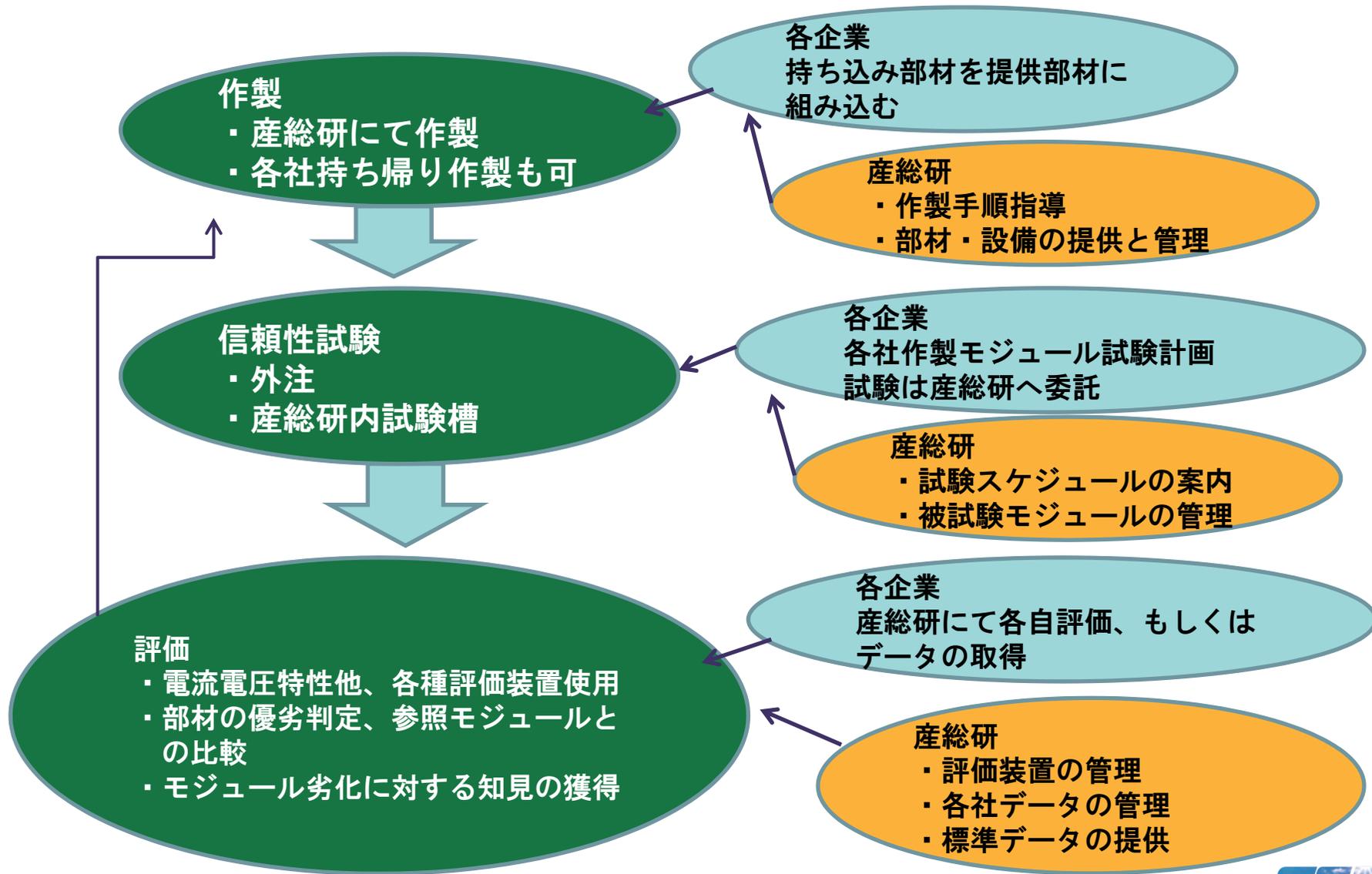
3. モジュール評価

- ・ 電流電圧特性
- ・ EL
- ・ 面内電流密度分布
- ・ 耐電圧
- ・ その他（黄変度測定、熱画像測定等）

4. 中古モジュール解析調査

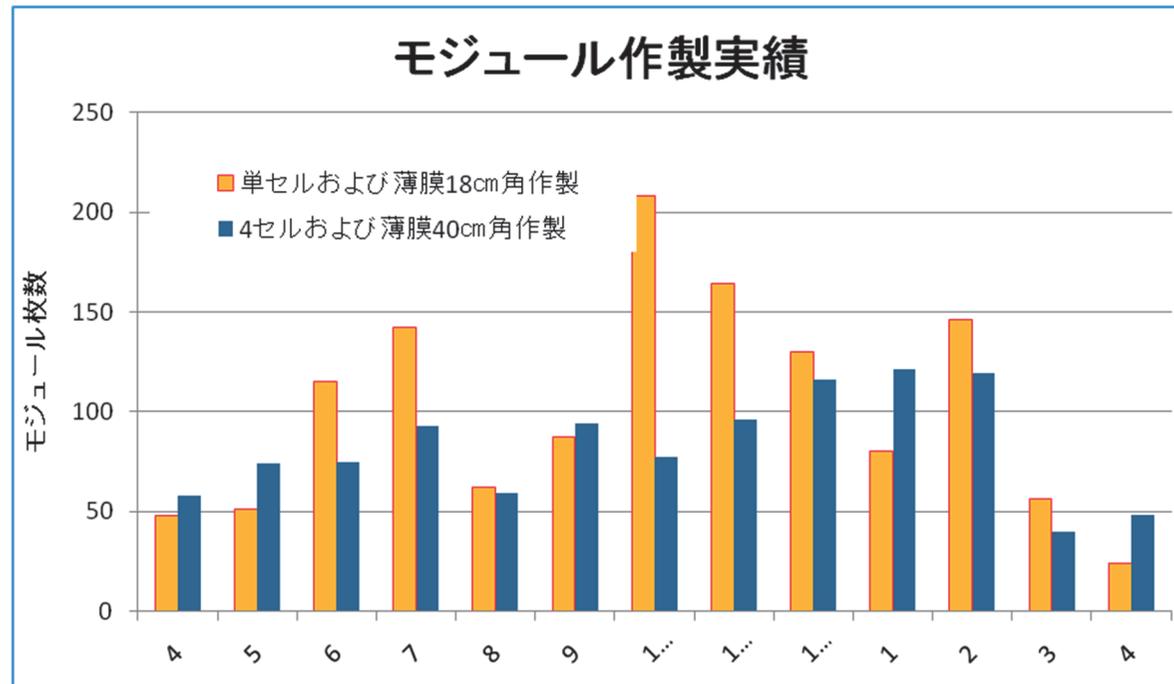


研究の流れ



試作・試験実績

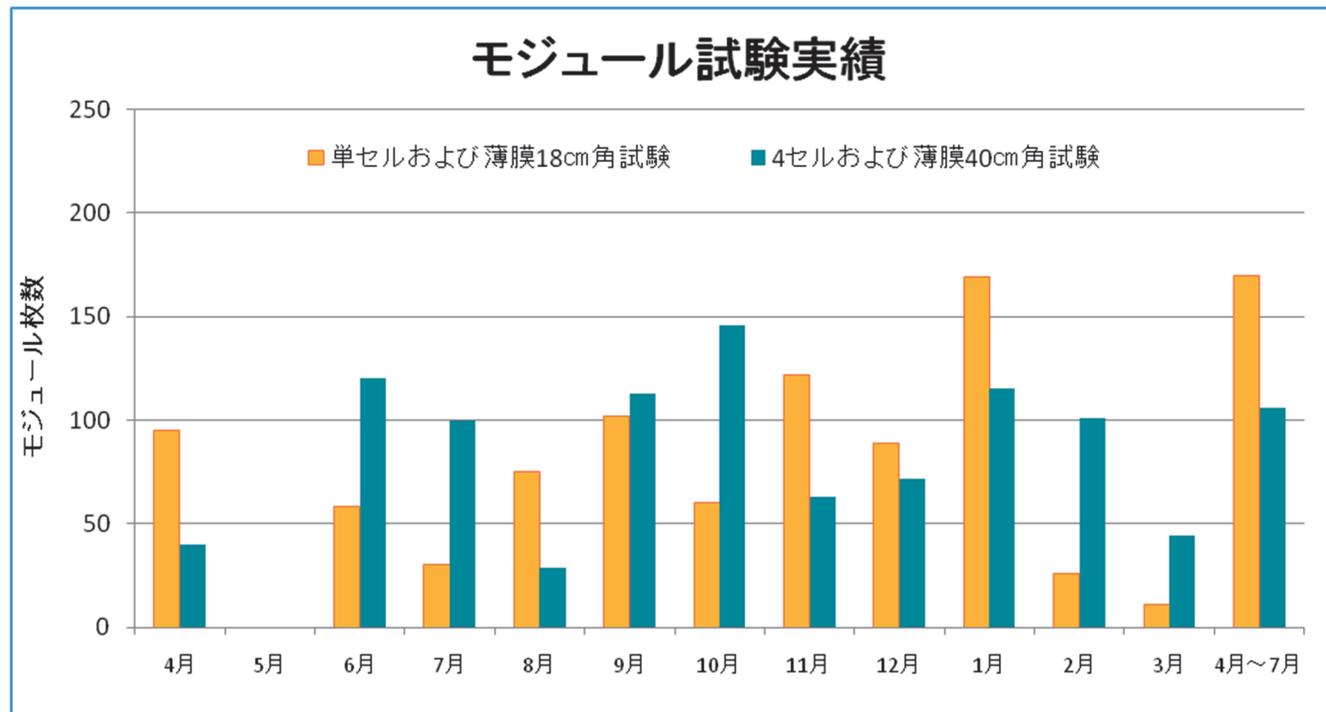
1. モジュール作製枚数



サイズ別試作枚数（22年4月～23年7月）
 結晶4セル&薄膜40cm角：1070枚
 結晶単セル&薄膜18cm角：1313枚
 結晶フルサイズ&薄膜フルサイズ：171枚

試作・試験実績

2. 信頼性試験実施モジュール枚数



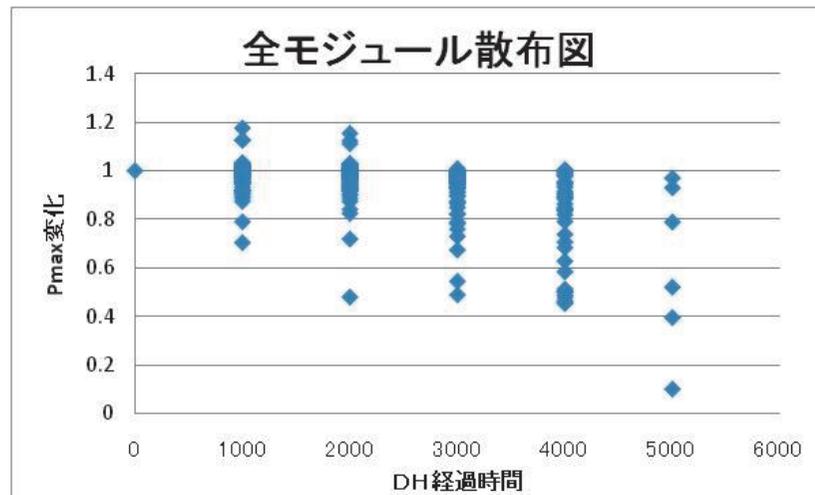
サイズ別試験枚数（22年4月～23年7月）*すべて延べ数

結晶4セル&薄膜40cm角：1049枚 結晶単セル&薄膜18cm角：1007枚

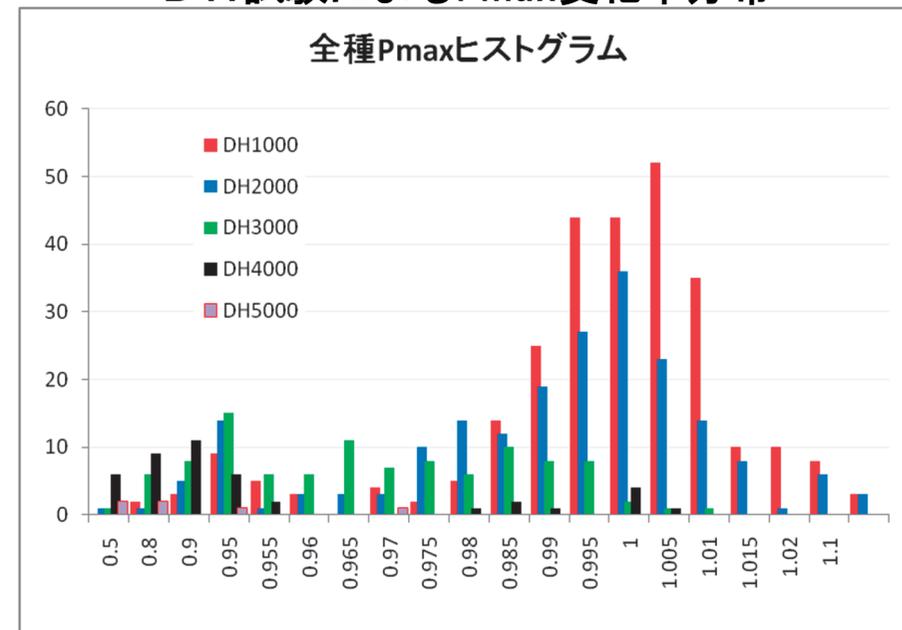
結晶フルサイズ&薄膜フルサイズ：79枚

統計データ

① DH試験によるモジュールの劣化傾向



DH試験によるPmax変化率分布



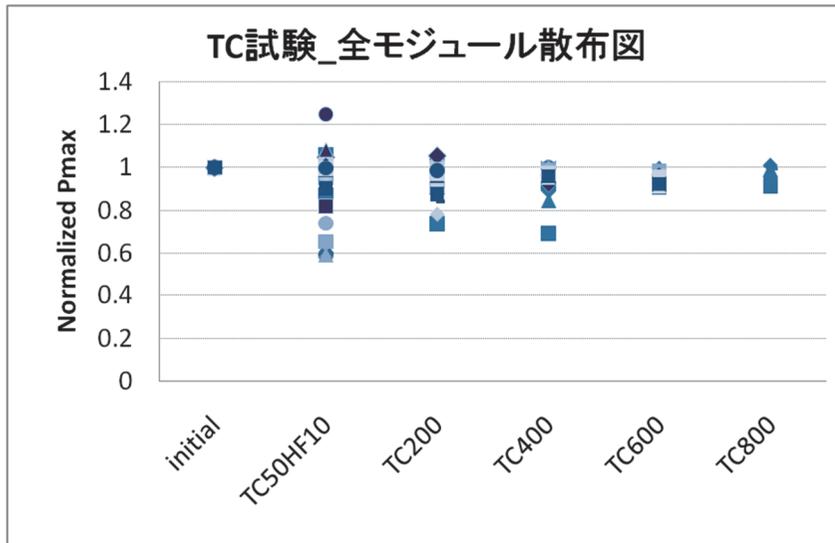
DH試験によるPmax変化率の平均と偏差

		DH1000	DH2000	DH3000	DH4000
全種類	平均	0.993798	0.973199	0.902323	0.794253
	標準偏差	3.440%	7.839%	13.985%	21.388%
	個数	270	173	68	28

- ・DH1000→DH2000では、Pmaxの変化があまり見られず、DH3000で急激に劣化が進む。
- ・経過時間によらず、DH試験後にはPmaxに大きなばらつきが見られる。

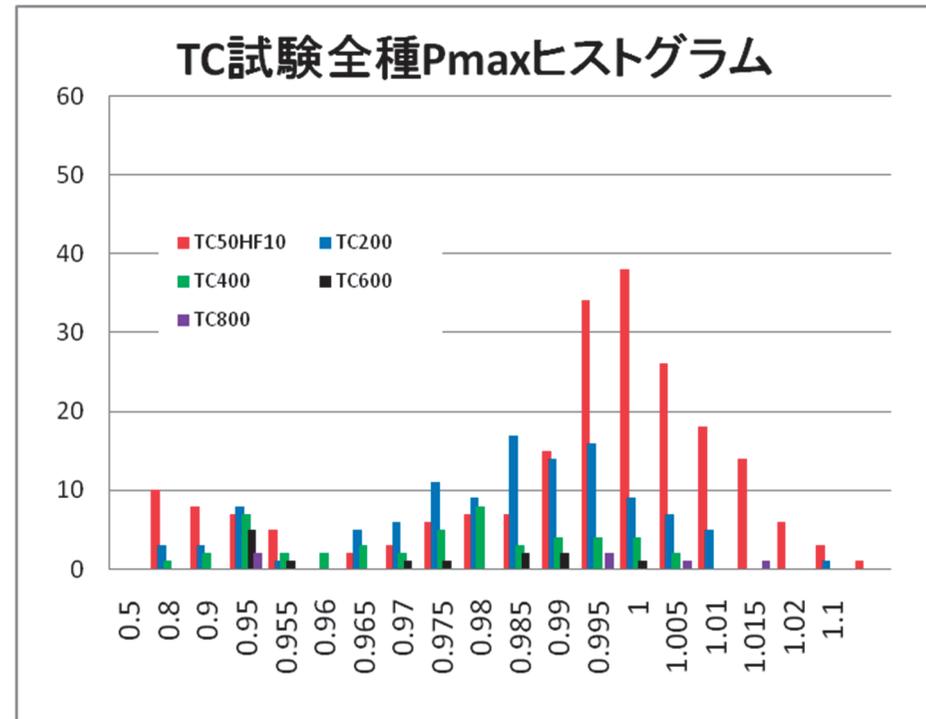
統計データ

②TC試験によるモジュールの劣化傾向



- ・ TC50HF10→TC200→TC400と進むにつれて、劣化が徐々に進行していく。
- ・ DH試験ほどばらつきが大きい。(急激に大幅に劣化することが少ない)

TC試験によるPmax変化率分布



TC試験によるPmax変化率の平均と偏差

		TC50HF10	TC200	TC400	TC600	TC800
全種	平均	0.97312	0.972634	0.962234	0.959069	0.976148
	標準偏差	8.361%	4.464%	4.948%	2.975%	3.802%
	個数	210	115	49	13	6

第1期のまとめ

- モジュール試作・試験・評価設備を整備し、2,500枚を超えるモジュールを試作した。
- 試作したモジュールの統計的データを整理し、DH試験やTC試験をIEC規格相当よりも延長することで、モジュールの信頼性に差異が生じることを見出した。また、DH5000あるいはTC800の試験後にも性能劣化を示さない信頼性高いモジュールも試作できた。
- 信頼性試験時間の短縮に繋がる新規信頼性試験法を開発した。
- 長期曝露モジュールの外観調査、破壊分析により、モジュールの劣化要因を推定した。

第II期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム

研究期間：平成23年4月1日～平成26年3月31日（第II期）

コンソーシアム長：近藤道雄（太陽光発電工学研究センター長）

提案公募により採択した機関（計64機関、A会員とB会員の兼務は5機関）

A会員（計19機関） アルバック、石川県工業試験場、エスペック、カネカ、ダイキン工業、大日本印刷、太陽光発電技術研究組合、長州産業、帝人デュポンフィルム、デュポン、電気安全環境研究所、東京エレクトロン、東洋紡績、凸版印刷、日本電機工業会、日立化成工業、三菱電機、**YOCASOL**、立命館大学

B会員（計21機関） **旭化成**、大倉工業、共同印刷、ソニーケミカル&インフォメーションデバイス、TANAKAホールディングス、ダイキン工業、大日本印刷、DIC、電気化学工業、東芝三菱電機産業システム、東洋アルミニウム、東洋紡績、東レ、東レエンジニアリング、凸版印刷、日産化学工業、日東電工、日立化成工業、富士フィルム、三井・デュポンポリケミカル、リンテック

C会員（計29機関） IMV、アイテス、岩崎電気、ウシオ電機、エーディーシー、**鹿児島県工業技術センター**、神奈川科学技術アカデミー、**北九州産業学術推進機構**、**九州電力**、**熊本県産業技術センター（くまもと有機薄膜技術高度化支援センター）**、クラレ、恵和、**佐賀県工業技術センター**、**佐賀県窯業技術センター**、三永電機製作所、サンビック、シーアイ化成、住友化学、積水化学工業、千住金属工業、大研化学製造販売、東京応化工業、東ソー、NEOMAXマテリアル、フジクラ、堀場製作所、三井化学、三菱レイヨン、村田製作所

協力機関（計15機関、C会員との兼務は2機関）

アイテス、エヌ・ピー・シー、オリックス・レンテック、菊水電子工業、Qセルズジャパン、コベルコ科研、Saes Getters S.p.A、JFEテクノロジー、島津製作所、東レ・ダウコーニング、東レリサーチセンター、西川計測、NEOMAXマテリアル、**富士電機**、レーザーテック

A会員が実施するコアテーマ研究の内容

テーマ番号	テーマ名	テーマ概要	研究開発のポイント
1	長期曝露モジュールの詳細調査	長期曝露を経たモジュールの破壊分析あるいは設置中モジュールの調査を通じて、モジュール不良・不具合の発生状況、発電性能の劣化状況を解析する。	<ul style="list-style-type: none"> 長期曝露モジュールの破壊試験を通じて劣化・不良要因を部材レベルでマイクロに調査分析 メガソーラーに設置中モジュールの不良・不具合事例の収集
2	テストモジュールによる劣化因子の明確化	劣化箇所が可視化可能なモジュールや故意に劣化因子を含むテストモジュールならびにセンシング技術を開発し、モジュール性能劣化因子を明確化する。	<ul style="list-style-type: none"> 劣化箇所が可視化可能なテストモジュール、劣化因子を含むテストモジュールの開発 劣化状況を把握できるセンシング技術の開発 劣化因子の評価を通じた、モジュール部材ならびに構造に対する要求特性の明確化
3	新規信頼性試験法の開発	コアテーマ1、2の成果も踏まえ、新規信頼性試験法を開発する。	<ul style="list-style-type: none"> 主要な劣化因子を複合化させた加速試験法や高加速試験による試験時間の短縮等、新規信頼性試験法の開発 新規信頼性試験装置の開発 開発成果の規格・標準への反映

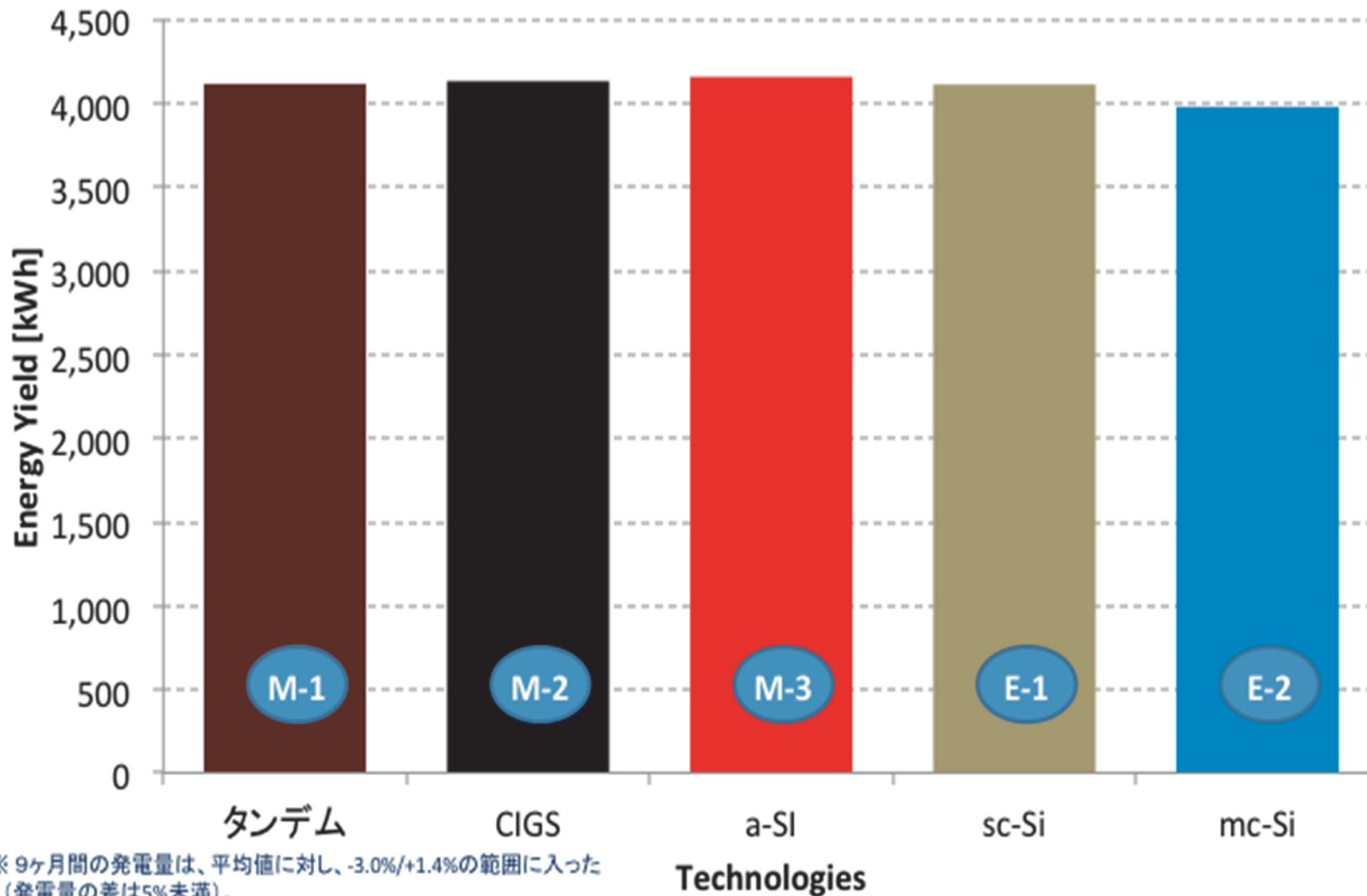
第II期の展望

- A会員の研究では、モジュールの劣化機構を解明するとともに、その知見をもとに新規信頼性試験法を開発する。
- B会員の研究では、モジュールの信頼性向上・長寿命化、効率向上、製造コスト低減を目的に、各社が定めた目標に向けて研究を行うとともに、共通課題の解決に向け、モジュール部材の基準策定に資するデータを収集し共有する。
- A会員、B会員の成果を融合させ、太陽電池モジュールに適用可能な部材の基準を定め、新規信頼性試験法とともに、国際規格・標準への反映を目指す。
- C会員制度により、産学官における太陽光発電分野の裾野を広げ、産業基盤を強化する。

NEDO「発電量評価技術等の開発・ 信頼性及び寿命評価技術の開発」

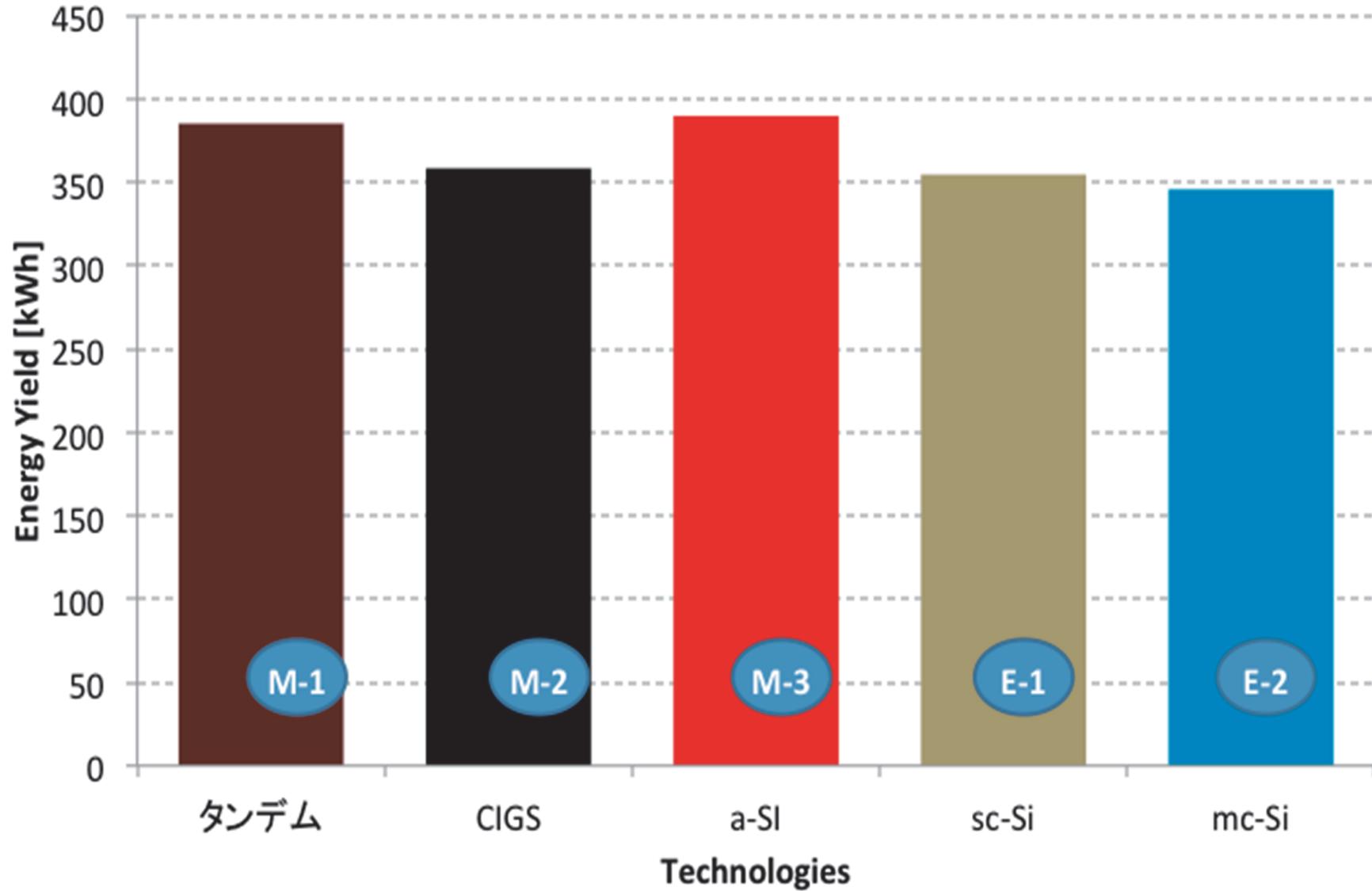
発電量の実績

PVBENCH 2010/10/1~2011/6/30



発電量の実績

PVBENCH 2011/6/1~7/1



新規信頼性試験法の開発

- ・概論: 土井(10月4日午後、口頭講演)
- ・モジュール面への周期的機械圧力印加による新規加速試験法の検討:
金(10月4日、ポスター)
- ・加圧雰囲気下ならびに加圧—大気圧サイクルにおける高温高湿試験:
鈴木(10月4日、ポスター)
- ・太陽電池モジュールにおける水蒸気浸入経路の調査方法:
宮下(10月4日、ポスター)

(太陽光発電技術研究組合と共同実施)

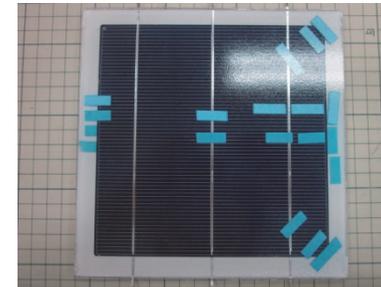
太陽電池モジュールにおける水蒸気浸入経路の調査方法

検討した水分感知材:

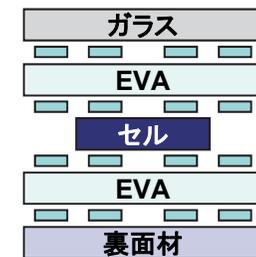
- CoCl₂試験紙
 - ... 濃青色(無水物) → 薄紅色(六水和物) への変色を利用
- SAES Getters製水分感知テープ“B-Dry”
 - ... 水との反応による外観変化を利用

CoCl₂試験紙 DH試験後の外観変化

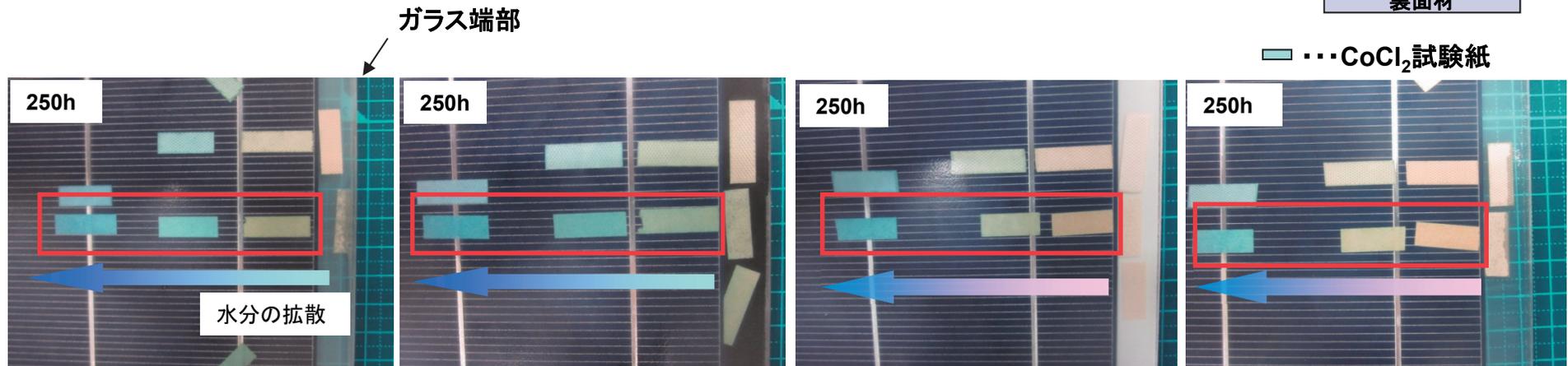
- 水分の浸入を促すためDamp Heat試験(DH試験: 85°C、85%RH)を実施



フレームレス構成



... CoCl₂試験紙



裏面材: ガラス

裏面材: PET / Al / PET

裏面材: TPT

裏面材: 50μm ETFE

低 ← 裏面材の水蒸気透過率 → 高

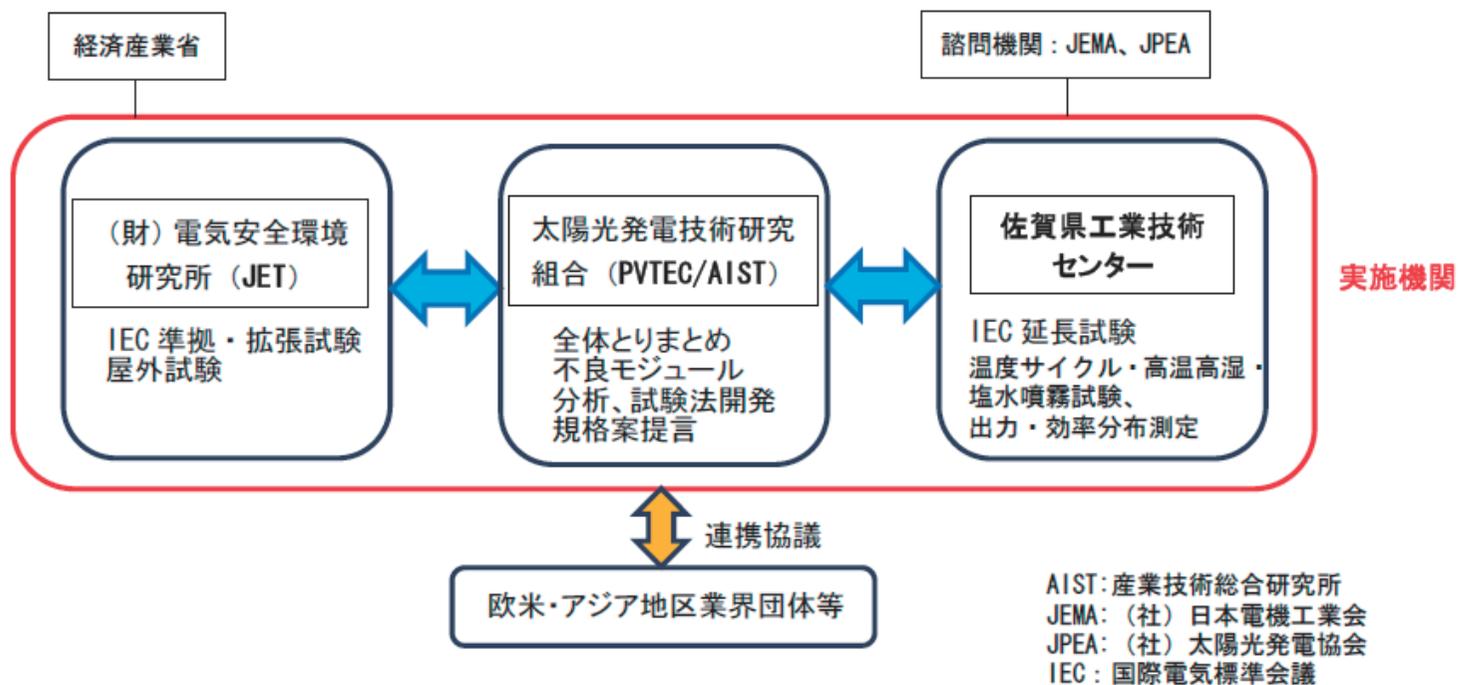
小 ← 試験紙変色 → 大

アジア基準認証推進事業

[テーマ名：太陽光発電における信頼性・品質試験方法に関する国際標準化] H22 年度経済産業省補正予算
 三者共同提案：太陽光発電技術研究組合 PVTEC、(財) 電気安全環境研究所 JET、佐賀県

概要： 近年、太陽電池の世界市場はヨーロッパから、北米、アジアへ移行している。また、低コスト化重視の需要から中国製品が市場を席卷しており、相対的に日本製品のシェアが低下している。今後の国際競争を勝ち抜くためには早急に戦略的な標準化が必要である。そこで、本事業ではIEC（国際電気標準会議）の既存規格を改良・補完する新しい規格の提案と客観的かつ中立的で技術的に有意な認証基準を確立し、低コストに偏らない、健全で正当な国際競争を醸成する。そして、今後の市場中心として期待されるアジア、太平洋諸国との連携強化を図り、日本製品のシェアを現状の14%から2030年において30%までに高めることに寄与する。

実施体制：



新規信頼性試験法開発の重要性

- 現在の認証試験に用いられているIEC規格に定める試験は、信頼性を十分に反映できるものではなく、信頼性の良否に関わらず同様の結果となる場合もある。
- 信頼性の高いモジュールを正當に評価できる試験法の開発が重要である。
- 試験法開発については、次頁で示すように実用化までの段階でテーマを整理し、互いに重複せず、かつ相互の知見を有機的に活用できる体制で実施している。

IEC規格に定めた試験条件の厳格化

→繰り返し回数や時間の増加、組合せ、通電、TTF

(「平成22年度アジア基準認証推進事業費補助金(太陽光発電における信頼性・品質試験方法に関する国際標準化)」にて、産業技術総合研究所、太陽光発電技術研究組合、佐賀県、電気安全環境研究所で共同実施)

屋外曝露環境に近い複合加速試験の開発

→例えば、光照射により電圧が発生し、電流が流れることで初めて現れる不具合を考慮

(「第II期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム」にて、産業技術総合研究所と77機関で共同実施)

試験時間短縮を目的とした高加速試験の開発

→劣化モードが変わらないことが重要

(「第II期高信頼性太陽電池モジュール開発・評価コンソーシアム」にて、産業技術総合研究所と77機関で共同実施)

新しい原理に基づく試験法の開発や有機系太陽電池に対応した試験法の開発

→例えば加重・抜重試験や水蒸気透過率が 10^{-6} g/m²day台の水蒸気バリアを求められる太陽電池向けの試験法の開発

(新エネルギー・産業技術総合開発機構「太陽エネルギー技術開発／太陽光発電システム次世代高性能技術の開発／発電量評価技術等の開発・信頼性及び寿命評価技術の開発」にて、産業技術総合研究所と太陽光発電技術研究組合で共同実施)

まとめ

- 太陽電池モジュール信頼性評価連携研究体は、平成22年10月に九州センター内に設立された。現在、常駐者10名、派遣型の共同研究員約50名で研究を実施している。
- モジュール試作・試験・評価設備、屋外曝露設備を整備した。
- コンソーシアム研究では、DH5000あるいはTC800の試験後にも性能劣化を示さない信頼性高いモジュールも試作できた。
- 信頼性試験法開発については、実用化までの段階でテーマを整理し、互いに重複せず、かつ相互の知見を有機的に活用できる体制で実施している。