

(平成18年度～平成21年度 4年間)
『太陽光発電システム共通基盤技術研究開発』
事後評価分科会説明資料

議事5 プロジェクトの詳細説明(公開)

5-1 新太陽電池評価技術の開発
(1)太陽電池評価

2009年12月18日
 NEDO技術開発機構 新エネルギー技術開発部

太陽電池性能評価

3. 研究開発成果について (1) 目標の達成度

公開

(1) 個別研究開発項目の目標と達成状況 事業原簿 P16-29

	目標	成果	達成度	今後の課題
1) 新型太陽電池性能評価技術	<ul style="list-style-type: none"> ・新型太陽電池の基本的な評価方法を開発 ・様々な温度照度スペクトルにおける各種モジュールの高精度評価技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・世界をリードする評価技術を開発 ・国際的整合性を検証 ・JIS規格、IEC規格等に採用 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・新たに開発される新型太陽電池評価技術 ・光照射効果等を考慮した性能評価技術 ・屋外高精度測定技術
2) 校正技術の高度化	<ul style="list-style-type: none"> ・ソーラシミュレータ法による一次基準セル屋内校正技術の高度化 ・二次基準モジュール屋内校正技術の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・ソーラシミュレータ法の不確かさを解析を完了(第三者認定済) ・基準モジュール屋内校正技術確立:JIS化 	◎	<ul style="list-style-type: none"> ・新技術に基づく絶対分光感度法による屋内校正技術の開発 ・薄膜系単接合での検討、多接合型太陽電池への適用可否検討
3) 信頼性評価技術	<ul style="list-style-type: none"> ・寿命評価試験方法の開発と標準化(規格化)のための基礎となる技術開発を推進 ・実環境下で発生しているモジュールの不具合症状を収集分析評価し、劣化要因との関係を解明 	<ul style="list-style-type: none"> ・現行市販モジュールにて有効な加速係数が得られた ・暴露試験等の不具合事例を収集・要素技術試験の結果、不具合発生機構類推・劣化要因を抽出 	○	<ul style="list-style-type: none"> ・各種劣化因子を加速試験へつなぐ試験法の開発 ・特定した劣化要因、新規不具合発生の監視(調査、暴露の継続)

プロジェクトの目標(目的)

事業原簿 P16-29

1. 新型太陽電池性能評価技術(AIST)

太陽電池評価技術として、従来型の太陽電池はもちろん、新たに開発される新型太陽電池にも対応する基本的な評価方法を開発し、これらの太陽電池の性能を評価可能とする。特に様々な温度・照度・スペクトルにおける各種モジュールの高精度な性能評価技術を開発する。

2. 校正技術高度化(AIST)

- ・ 一次基準太陽電池セルの根幹標準に遡り、不確かさを最小にするトレーサビリティ体系を明確する。必要なハードウェア及び技術の開発により不確かさ1%以内の校正を実現する。
- ・ 二次基準モジュールの校正技術を高度化し、校正値の繰返し再現性0.5%以内を達成する。

3. 信頼性評価技術(AIST/JET)

信頼性評価技術として、寿命評価試験方法の開発と標準化(規格化)のための基礎となる技術開発を推進する。この要素技術として、実環境下で発生しているモジュールの不具合症状を収集・分析評価し、劣化要因との関係を解明する。さらに、太陽電池モジュールの老化・故障時の交換、将来のリユースを視野に入れた互換性について必要なデータを取得する。

2/23

プロジェクトとしての達成状況

事業原簿 P16-29

1. 新型太陽電池性能評価技術(AIST)

(1)各種新型太陽電池性能評価技術:太陽電池モジュールの高精度な評価に必要な、モジュール内要素セルおよびモジュール全体の分光感度特性を測定可能な実用的**モジュール分光感度特性測定技術・装置**を世界で初めて開発した。結晶Si、薄膜Si、CIGS、多接合等各種太陽電池モジュールの分光感度特性および出力特性の高精度な評価を可能とした。性能評価の基となるIEC規格の**基準太陽光スペクトル改訂**が、**各種太陽電池の性能表評価に及ぼす影響**を世界に先駆けて定量的に明らかにした。これらの世界をリードする高精度な性能評価技術を開発すると共に国際比較等を通して検証し、初期目標を大幅に達成した。

(2)可変条件性能評価技術:太陽電池モジュール温度を均一に約10℃~65℃以上まで可変できる冷却・加熱装置を新規開発し、**高精度な可変条件性能測定**を可能とした。太陽電池特性の広範囲な**温度照度依存性**を精密に再現できる数式を開発し、JIS規格に採択。IEC規格に採択予定。可変スペクトルソーラシミュレータの基本設計を検証。

3/23

プロジェクトとしての達成状況

事業原簿 P16-29

2. 校正技術高度化(AIST)

(1)一次基準セル校正技術高度化

・AISTにおけるソーラシミュレータ法による**一次基準太陽電池の校正の不確かさ**を解析し、その値が1%以内であることを明らかにした。この値は、**ISO/IEC17025**に対する適合性認定審査でその妥当性が第三者評価されている。以上により、わが国の一次校正が国際最高レベルであることを明らかにして初期の目標を大幅に達成した。

(2)二次基準モジュール校正技術高度化

・結晶シリコン系**二次基準モジュールの屋内校正技術**を世界で初めて確立した。また、二次基準モジュール法の不確かさ解析の一環として、モンテカルロ・シミュレーションによる各種解析を実施した。その成果は、JISC8921「二次基準シリコン結晶系太陽電池モジュール」にも活用され、初期の目標を大幅に達成した。

4/23

プロジェクトとしての達成状況

事業原簿 P16-29

3. 信頼性評価技術(AIST/JET)

(1)モジュールA(多結晶150mm角セル12枚)を用いた複合加速劣化試験の結果、東京における平均積算日射量との比較では、**3SUN90°C条件下で加速係数160**を得た。高温時光照射・温度サイクル試験の結果、デラミネーション発生が見られた。同様の症状が宮古島にて屋外暴露中のモジュールA(2年経過もの)でも多数見られ**症状の再現性を確認**した。

(2)モジュール出力が低下する**劣化症状と因子の関係**として;①光誘起電流(紫外線・モジュール温度との相乗効果)、②直列抵抗(モジュールの温度・温度差の相乗効果)、③並列抵抗(相対湿度の影響)を示唆する結果を得た。

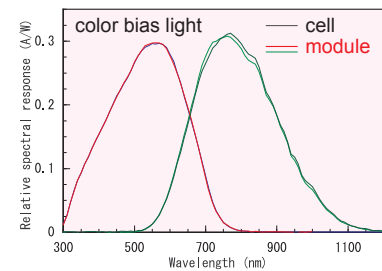
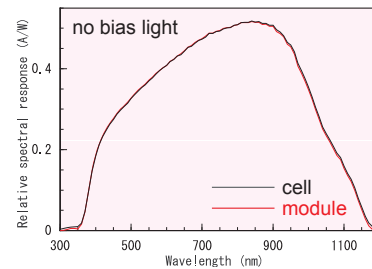
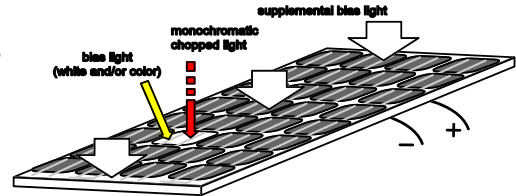
5/23

各種新型太陽電池性能評価技術

モジュール分光感度測定技術

・実用サイズモジュール内の要素セルおよびモジュール全体の分光感度特性を測定可能な、**実用的モジュール分光感度特性測定技術・装置を、世界で初めて開発**

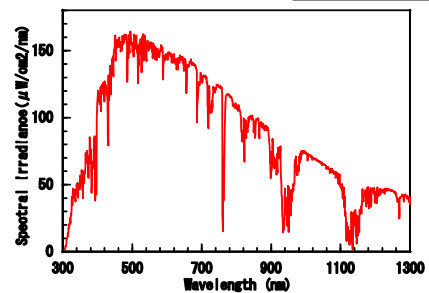
→PVモジュールの高精度測定を可能とした
(認証・生産現場への応用を開く)。



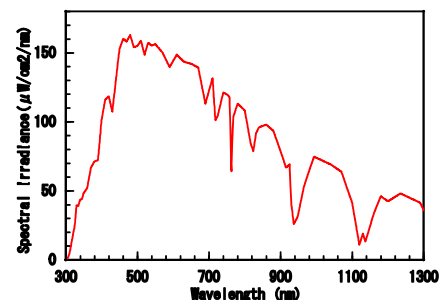
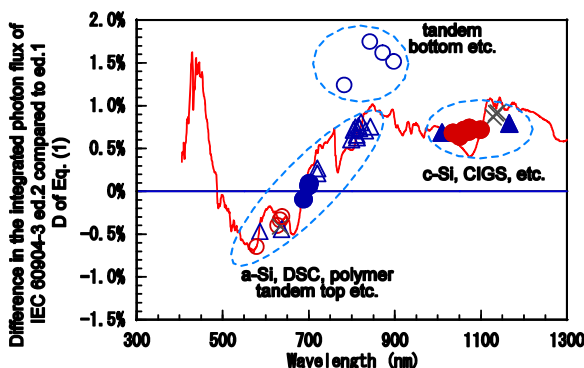
各種新型太陽電池性能評価技術

基準太陽光スペクトル改訂の影響

・IEC規格の基準太陽光スペクトル改訂。
→STCでの太陽電池出力が変化する。
・各種太陽電池における変化を定量化。
→簡便で正確な予測を可能とした。



新基準太陽光スペクトル
(IEC60904-3 Ed.2, etc.)



従来のスペクトル
(IEC60904-3 Ed.1, JIS C8910
etc.)

各種新型太陽電池性能評価技術

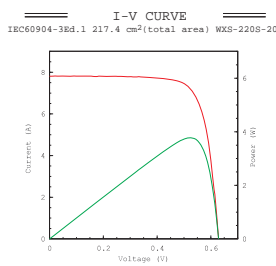
事業原簿 P16-29

新型太陽電池の高精度測定実施

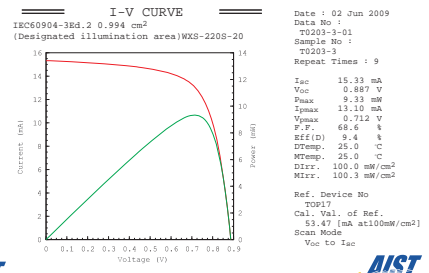
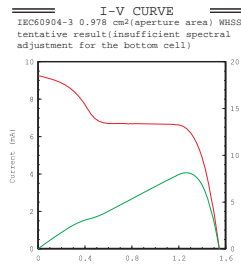
・各社、大学のNEDO開発品等の新型太陽電池測定実施 約200件
 →測定技術の普及、世界最高効率等の確認

国際比較測定

・モジュール国際比較測定(H18 NREL主催 日米欧)
 ・アジア国際モジュール比較測定(H21 AIST主催 日韓タイ台中印)
 ・有機薄膜評価国際比較, III V 多接合国際比較, (日米欧)等
 →評価技術国際的整合化の確認・推進



測定結果例(有機薄膜)



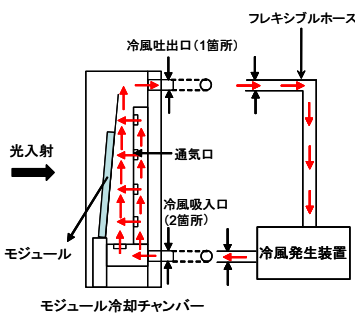
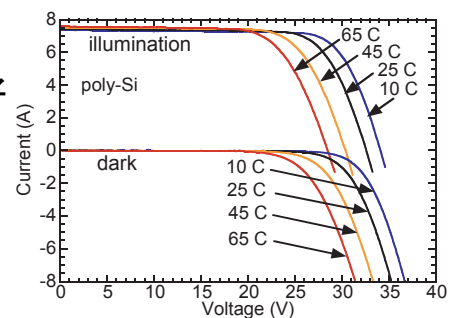
測定結果例(a-Si)

可変条件性能評価技術

事業原簿 P16-29

可変条件性能測定技術

・太陽電池モジュール温度を、±1°C程度の良好な面内温度均一性で約10°C~65°C以上まで可変できる冷却・加熱装置を新規開発し、太陽電池モジュールの高精度な可変条件性能測定を可能とした。



太陽電池モジュール冷却装置概略図

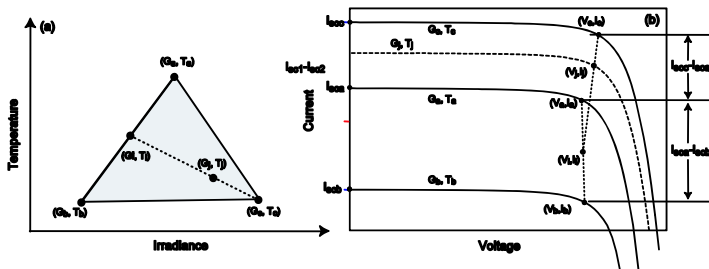
可変条件性能評価技術

事業原簿 P16-29

IV特性の温度・照度補正技術

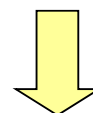
・IV特性の新しい温度・照度補正式を開発→JIS規格, IEC規格に採用
IEC 60891 Ed.2 (FDIS) 実用的な補正計算手順を定式化

$$V_3 = V_1 + a \cdot (V_2 - V_1) \quad I_3 = I_1 + a \cdot (I_2 - I_1)$$



$$\begin{aligned} x_a G_a + x_b G_b + x_c G_c &= G_j \\ x_a T_a + x_b T_b + x_c T_c &= T_j \\ x_a + x_b + x_c &= 1 \end{aligned}$$

温度, 照度の異なる3つのIV特性
→任意の温度照度におけるIV特性
(左記の方程式で係数導出)



今後益々重要となるPVの各種気象条件下における性能評価・性能予測を従来よりも大幅に改善できる技術
→各種気象条件下における発電量評価の重要な基本技術。

一次基準セル屋内校正技術を確立(不確かさ<1%)



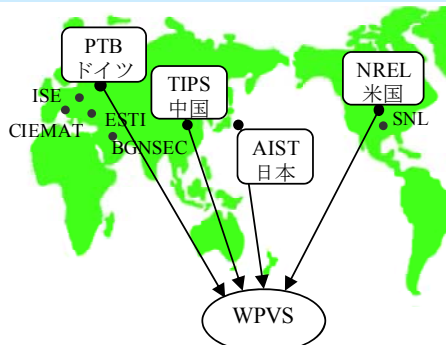
- World's First**
- ・平行度: <±1.2°: 全角 (従来技術では>3°: 全角)
 - ・視野角: 5°
 - ・WRR絶対放射計で放射照度を校正可能
 - ・特願2006-273550
 - ・米国特願12/513301

ISO/IEC17025 Accredited And WPVS qualified Lab.

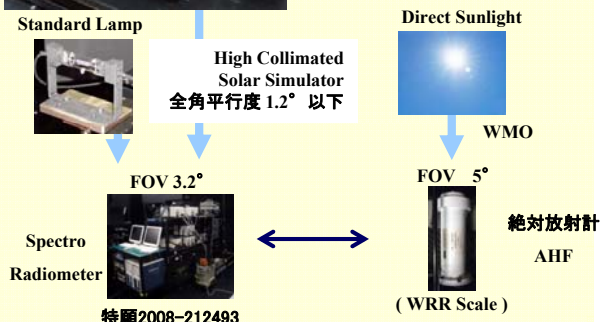


ラボ認定と国際比較校正で国際同等性を先導

事業原簿 P16-29



ラボ認定証 Certificate from NITE



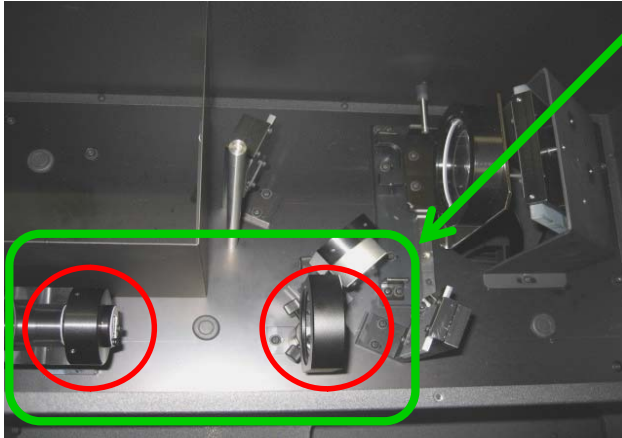
1. WRR による絶対放射照度測定(絶対値)		U95 (%)	評価方法
1.1	WRRとSI放射スケールとの比較	0.08	B
1.2	絶対放射計の再現性 (WMO及びAISTでの測定データ)	0.16	A
1.3	絶対放射計受光面とセルとの面積の違い (放射照度の面分布の影響)	0.10	A+B
1.4	絶対放射計とセルとの測定時間の違い (温度変動の影響)	0.05	A
1.5	受光面の水平度の不確かさ (受光面歪みの影響)	*	
1.6	受光面の高さの不確かさ (光線平行度の影響)	0.13	A+B
1.7	絶対放射計受光面又はセル受光面と光源との多重反射による再入射光量の違いを補正したときの補正率の不確かさ (多重反射の影響)	*	
2. I _{sc} 測定(絶対値)			
2.1	導出用校正値を算出する6個の校正値の平均値の実験標準偏差 (分布による)	0.04	A
2.2	電流/電圧計の不確かさ	*	
2.3	標準抵抗器の不確かさ	*	
2.4	電流/電圧計の経年変化(校正期間内での経年変化)	*	
2.5	電流/電圧計の分解能の校正値に対する比率	*	
2.6	標準抵抗器の温度係数及び経年変化の影響	*	
2.7	セル温度の変動のJ _{sc} への寄与分	0.05	A+B
2.8	電圧計の不確かさのJ _{sc} への寄与分	*	
3.3.1	スペクトルミスマッチ補正係数の不確かさ	0.25	A+B
合成不確かさ		0.358	
拡張不確かさ (k=2)		0.72	

ソーラシミュレータ法の不確かさ見積り

校正技術高度化:絶対分光感度法の要素技術開発 ドイツPTB DSR法実現のキーテクノロジー

シングルインテグレート方式
有効照射面積 20×20mm
不均一性 ±5%
単色光強度 20μW/cm²

マルチインテグレート方式
有効照射面積 60×60mm
不均一性 ±1%
単色光強度 40μW/cm²



高強度・高均一単色光照射光源部

※特許出願準備中

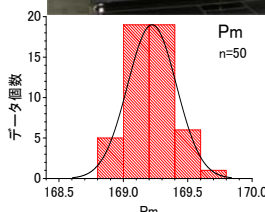
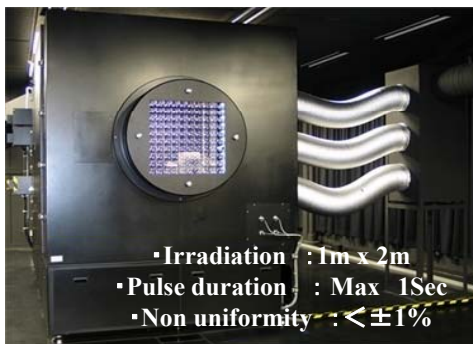
- プローブ光の大幅な高強度化・高均一化
- 照射面積の拡大

- 波長範囲 300nm~1700nm
- 単色光強度 40 μW/cm²
- 単色光照射面積 60×60mm
- 単色光面内不均一性 <±1% (450,550,750nm実測)

二次基準モジュール用校正技術

応答速度の比較的遅い
IEC60904-2の要求性能は 太陽電池にも適用可能
・IEC60904-9 Class A+照度むら ±1%以内

世界最高 ±0.7%を実現



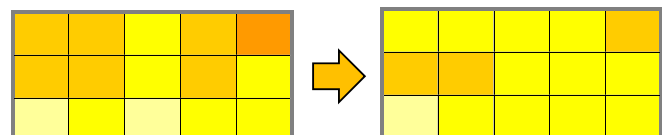
繰り返し測定の不確かさ

0.2% u₉₅(k=2)

温度制御装置 特願2007-315385



25.6 ~	面内温度制御: 25 ± 0.5°C
25.2 ~	(JIS/IEC規格: 25°C ± 2°C)
24.8 ~	
24.4 ~	
24.0 ~	←基準温度: 25°C

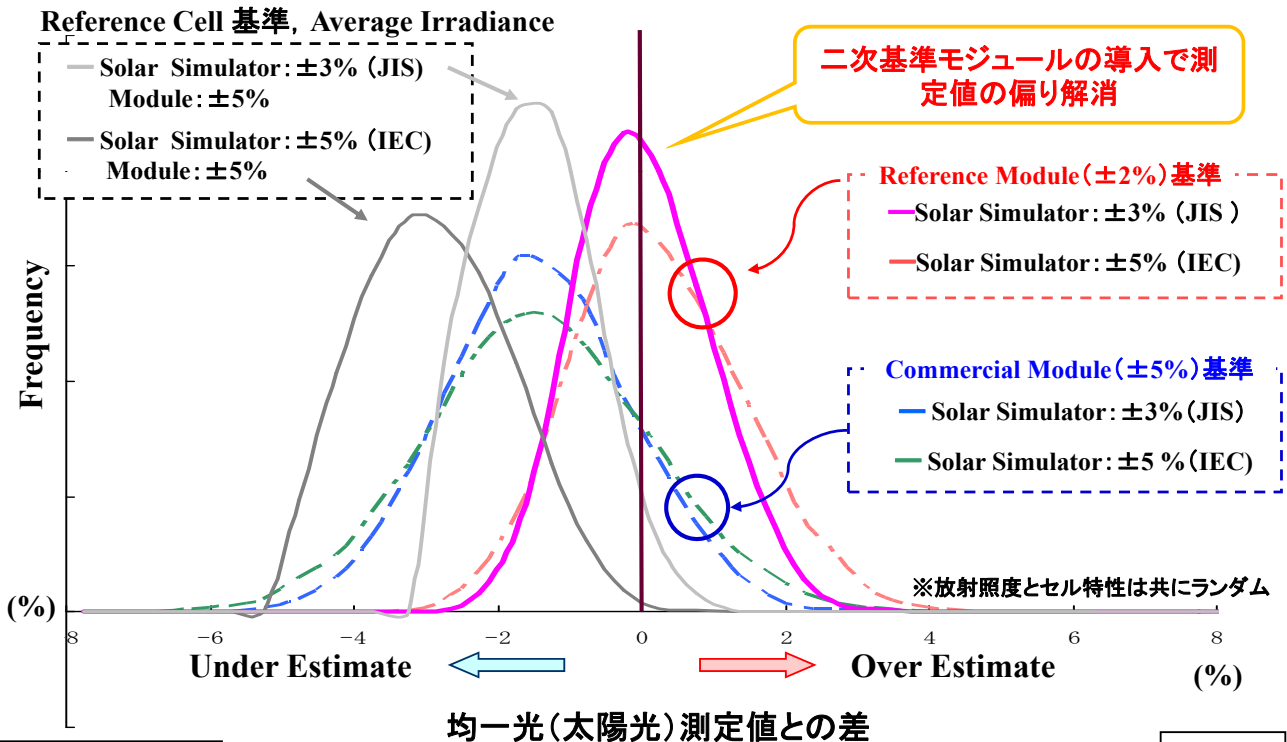


1m×2mモジュール裏面温度分布
左:装置導入前 2σ:1.0°C
右:装置導入後 2σ:0.6°C

均一度を40%向上

モンテカルロ法による基準モジュール法の導入効果の解析

既存の管理方法では生産者リスク大でバラツキも大きい

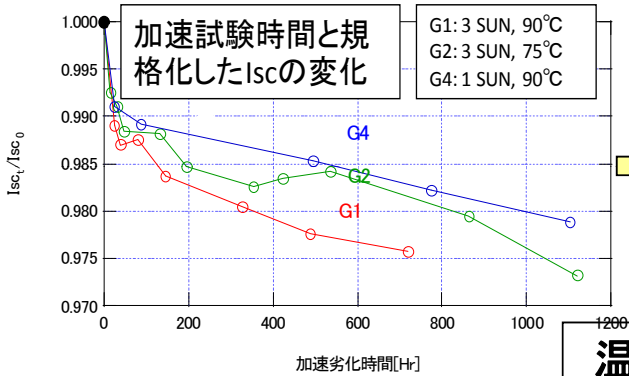


成果普及の例: 基準太陽電池セルの校正サービス(依頼試験)の開始

AISTホームページ
2009年9月9日より開始

信頼性評価技術

1)20~30年相当の屋内加速試験の基本技術開発



今期目標(マイルストーン):
包括的な寿命評価試験法開発の1つとして、温度・光照射に依存する劣化症状と加速係数を把握する。

温度および照度に関する加速係数を計算

現行市販モジュールにて有効な加速係数(暫定)を確認!

※複合劣化試験装置に設置できる最大サイズが H 1218 mm x W 445 mm であることにより選定



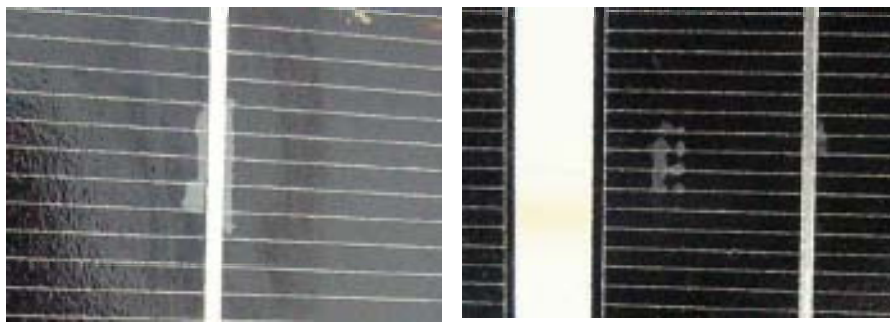
東京における平均積算日射量で計算:
3SUN, 90°C加速試験で
160倍の加速係数に相当

※暫定:加速係数は最終的には屋外暴露データとの照合が必要のため

太陽電池性能評価

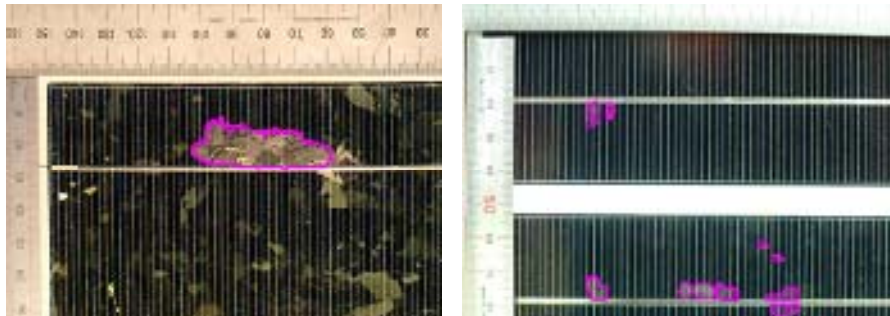
1)20~30年相当の屋内加速試験の基本技術開発

★屋外暴露条件下で発生している症状を屋内加速試験により再現!



宮古島JWTC暴露サイト調査(2007年2月暴露開始, 2008年11月調査実施)

↑ 屋外暴露条件



↓ 屋内加速試験
高温時光照射・温度サイクル試験(3UV・75~ -20°C・1サイクル2時間, 50時間で発生確認)

2)劣化要因抽出



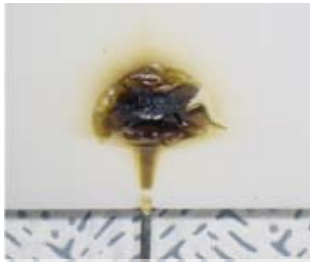
バックシートこげ



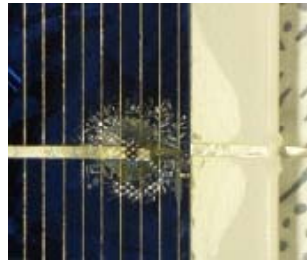
インターコネクタ脇のこげ

屋外実運転で観察された不具合事例

屋外暴露での不具合事例と屋内での逆バイアス破壊試験で類似の症状を確認した。



バックシートこげ インターコネクタのこげ, EVAの熔融



逆バイアス破壊試験

上記モードに対する信頼性評価に、逆バイアス電圧印加を取り入れた加速試験が有効であることが明らかになった。

暴露試験



北見サイト



銚子サイト



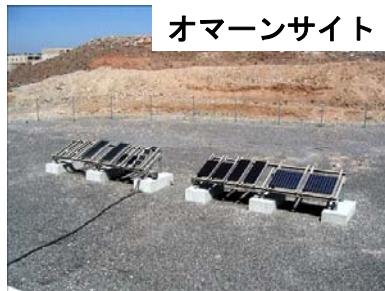
鳥栖サイト



宮古サイト



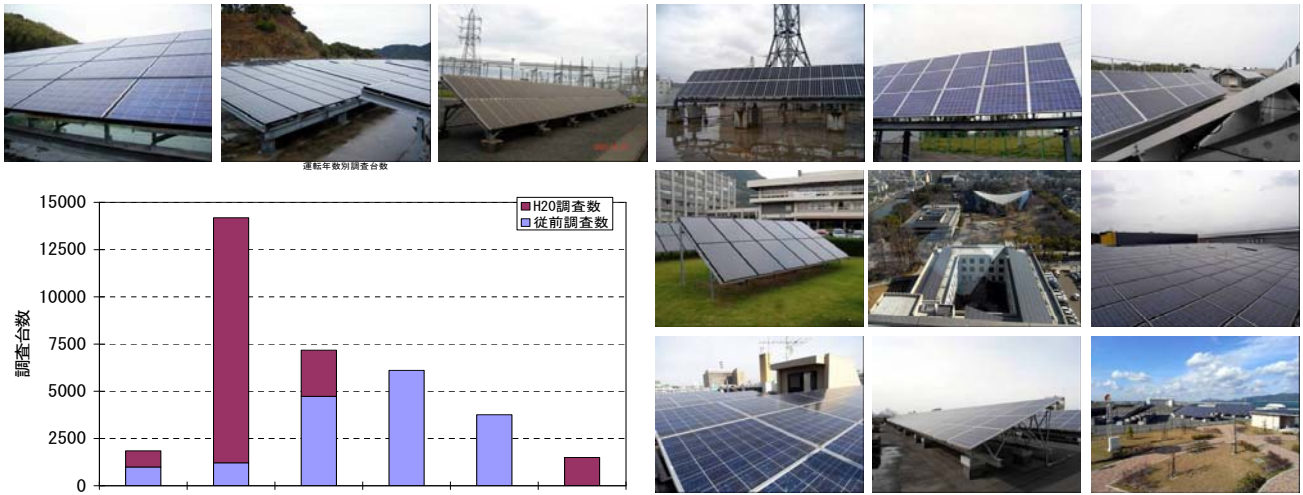
海岸サイト



オマーンサイト

- 気象条件の相違による出力低下等の差を求めた。
- 国内5サイト, 海外1サイトで, 述べ250モジュールに対し試験を実施。
- 劣化要因としては, 紫外線・モジュール温度との相乗効果, モジュールの温度・温度差の相乗効果, 相対湿度の効果を主たる結果として得た。

実フィールドにおける劣化事象収集（国内）調査



- 国内調査は、**多種の運転期間**の運転実績を持つモジュールに対し、運転期間相違による外観異常等の劣化事例データ収集を実施した。
- 25サイト、述べ**40,000台のモジュール**を収集。
- バックシートの変色，封止材の褐色化，封止材の剥離現象，モジュール内への水分の浸入，バスバー相互接続部の過熱現象等が主たる劣化事象であった。

(3) 知的財産権, 成果の普及

	H18	H19	H20	H21	計
特許出願	2	4	1		7件
論文(査読付き)	2	3	4	1	10件
研究発表・講演	13	17	22	9	61件
受賞実績	1				1件
新聞・雑誌等への掲載	2	2	1		5件
展示会への出展	2	2	2	2	8件
JIS規格・IEC規格等への貢献		7	3	8	18件
NEDO開発太陽電池等測定	60	70	60	30	220件

※ : 平成21年度10月2日現在

4. 実用化の見通しについて (1) 成果の実用化可能性

事業原簿 P16-29

本研究の実用化は以下のことを指す。

・開発した太陽電池評価技術がJIS規格・IEC規格等の標準に採用されて産業界に使用されること、および評価技術が普及して太陽電池開発・大量導入に貢献すること。

1. 新型太陽電池性能評価技術(AIST)

JIS規格・IEC規格等の標準化に技術的に貢献するために、国内・アジア地域内および欧米との比較測定・技術協力等による評価技術普及と整合性確保が重要である。

2. 校正技術高度化(AIST)

校正の低コスト化手法の開発が課題である。高精度化に適していながら実現できていない絶対分光感度法が次世代校正技術と位置づけられるなか、世界最高級の校正を実現するための要素技術の検討が課題である。

3. 信頼性評価技術(AIST/JET)

現行の規格ではふるい分けができないプレミアム(高信頼性)モジュールの評価・判別ができるようになり、日本製の太陽電池の優位性を海外へアピール可能となる。また、日本国内への設置ユーザーへの補助金への正当な判断基準となる。

4. 実用化の見通しについて (2) 実用化のシナリオ

事業原簿 P16-29

実用化のシナリオ

	2006	2007	2008	2009	2010~2015
新型太陽電池性能評価技術	新型太陽電池の屋内評価技術を開発。標準化。認証で実用				初期性能変化を含めた高精度屋外評価への展開
校正技術の高度化	一次基準セル校正技術高度化				低コスト新校正技術の開発
	二次基準モジュール校正技術高度化				精度向上・薄膜への展開
信頼性評価技術	屋内加速試験装置による加速試験開発(温度・光照射)				各種劣化因子と症状に対応する加速試験の開発と実証
	加速試験手法を評価するための屋外データの継続取得				