

第6章

標準モジュールの作製と信頼性試験

第6章 モジュールの作製と信頼性試験

本章では、コンソーシアムで作製したモジュールの信頼性試験で得られたデータを統計的にまとめた結果について述べる。また、信頼性試験後に劣化したモジュールの分析結果についても述べる。

6.1. モジュールの作製と評価

コンソーシアムで作製したモジュールは、結晶シリコン系が単セル、4セル、フルサイズの3種類であり、フルサイズは42枚のセルを直列接続したものである。薄膜シリコン系は、18 cm 角、フルサイズの2種類である。モジュール作製に用いた部材のうち、産総研が提供する標準部材については、表 3.2.1 に示したとおりである。コンソーシアムに参加する B 会員は、各社から持ち込んだ部材と標準部材を組み合わせモジュールを作製し、初期特性を評価後に各社で信頼性試験を実施し、試験後の特性を評価するという流れで研究を進めた。研究の進め方を図 6.1.1 に示す。

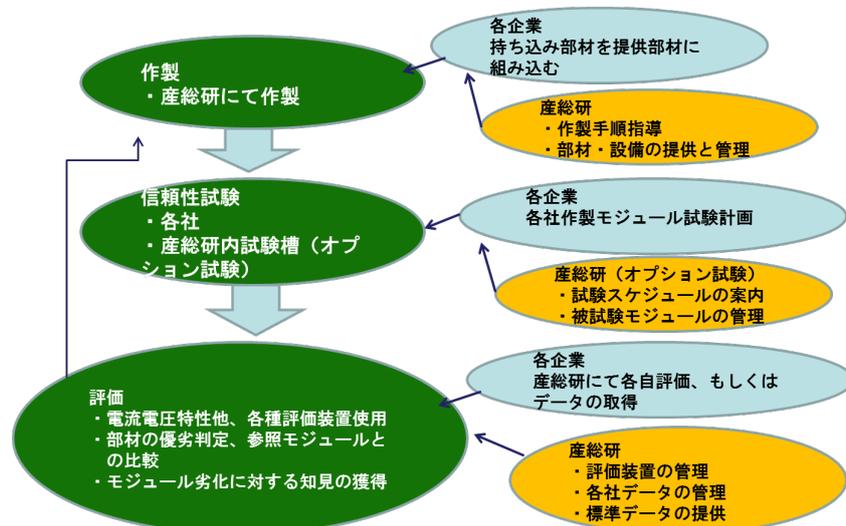


図 6.1.1. コンソーシアムでのモジュール作製、試験、評価の流れ

作製したモジュールに対して、ソーラーシミュレータにより電流－電圧特性を評価した他、湿潤漏れ電流試験、エレクトロルミネセンス評価、電流密度分布評価等を実施した。

ソーラーシミュレータの照度を確認するために、コネクタ接続部分および変換ケーブルの管理のための通常端子のモジュールを1枚 (図 6.1.2)、端子箱から繋がるケーブル先端の端子を予めバナナ端子に付け替えたモジュールを1枚 (図 6.1.3) 準備し、コンソーシアム用のこれら2枚のチェックモジュールを測定し、相対比較のための情報として参加企業に提供した。図 6.1.4 にはソーラーシミュレータで測定したチェックモジュールの特性変化を示す。概ね変化がなく、ソーラーシミュレータにより安定な測定が可能なが分かる。



図 6.1.2. 通常端子のチェックモジュール



図 6.1.3. バナナ端子のチェックモジュール

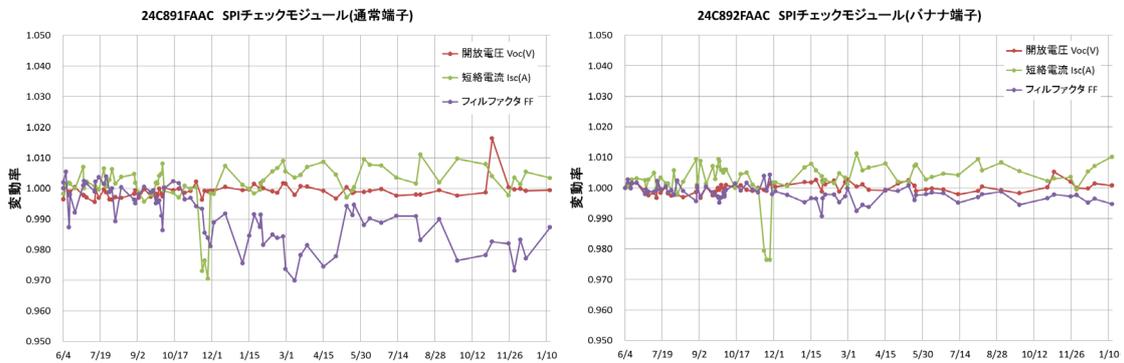


図 6.1.4. ソーラーシミュレータにより評価したチェックモジュールの特性変動

(独立行政法人産業技術総合研究所：山本 千津子)

6.2. モジュールの信頼性評価

本コンソーシアムで実施したモジュールの信頼性試験方法の概要を以下に述べる。

- ・高温高湿 (DH) 試験

IEC61215 10.13 Damp-heat test に準じた 85 °C85%試験を 1000 時間実施し、必要に応じて時間を延長した。

- ・結露凍結 (HF) 試験

IEC61215 10.12 に準じた-40 °C~85 °C85%の試験を 10 サイクル実施した。

- ・温度サイクル (TC) 試験

IEC61215 10.11 に準じた-40 °C~85 °Cのサイクル試験を 50 回および 200 回実施し、必要に応じて回数を延長した。IEC 規格では 200 回試験において STC ピーク出力を通电するが、本コンソーシアムでは通电試験はオプションとした。

- ・通电サイクル試験

IEC61215 10.11 に準じた-40 °C~85 °Cのサイクル試験を 200 回実施した。25 °Cを超えるときだけ、STC ピーク出力電流に±2%以内で設定した電流を流した。

- ・紫外光照射試験

キセノンランプを用い、照度 3UV (180 W/m²)、温度 85 °C、湿度 65%、試験時間は 200 時間単位とした。

・複合加速試験

連続光照射試験の場合は、照度 3UV (180 W/m²)、槽内温度 27 °C (モジュール裏面温度 60~80 °C)、試験時間は 200 時間単位とした。サイクル劣化試験の場合は、【{照度 (180 W/m²)、槽内温度 27 °C (モジュール裏面温度 60~80 °C)}、1 時間 + {dark、槽内温度-22 °C (モジュール裏面温度-20 °C)、1 時間}】×100 サイクル、全 200 時間とした。

(独立行政法人産業技術総合研究所：山本 千津子)

6.3. ミニサイズ標準モジュールの作製内容および試験結果

6.3.1. 結晶ミニサイズ標準モジュールの作製内容および DH 試験結果

産総研では標準部材だけで構成した標準モジュールを作製し、参加機関のモジュール作製に先行して試験データを取得し、参加機関に提供することに努めた。図 6.3.1 には第Ⅱ期で産総研が作製した結晶ミニサイズ標準モジュールの DH 試験状況を示す。

DH		n数	DH1000	DH2000	DH3000	DH4000	DH5000
c-Si	Normal	3					
		3					
		3					
	Normal (新セル)	3					
	シリカ蒸着	3					
	PAP	3					
	SC EVA	3					

図 6.3.1. ミニサイズ結晶系標準モジュールの DH 試験状況

結晶ミニサイズ標準モジュールの DH 試験後に観察された変化を以下にまとめる。

- 1) 結晶系モジュールにおいて、DH3000 時間後には図 6.3.2 に示すように、タブ線にさびのような変色や凹凸が観測された。さらに EVA の黄変も見られた。
- 2) 結晶系 4 セルモジュールにおいて、DH3000 時間後、図 6.3.3 に示すように EL 画像のセル周辺部に暗輝度部が見られるようになった。その後、急激に暗輝度部が大きく拡大した。
- 3) 結晶系 4 セルモジュールの最大出力、曲線因子の低下率は、図 6.3.4 に示すように、DH3000 以降急激に低下し、ファーストキュアタイプ、スタンダードキュアタイプともに同程度であった。
- 4) 結晶系 4 セルモジュールのバックシートを、TPT からシリカ蒸着、アルミバックシートに変更すると、図 6.3.5 に示すように DH1000 後に端子ボックス部分にふくらみが生じた。最大出力、曲線因子の低下率は DH2000 まで変わりはなかった (図 6.3.4)。



図 6.3.2. DH3000 時間後のタブ線の外観

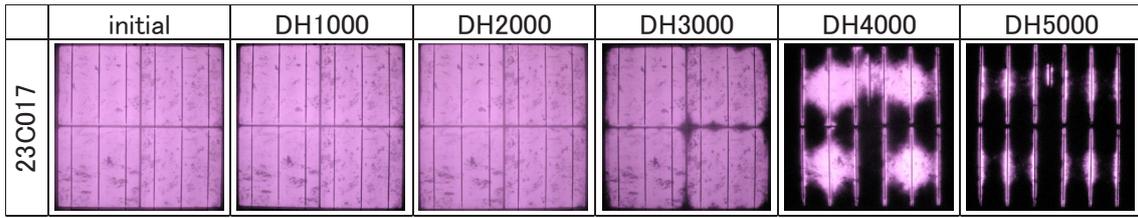
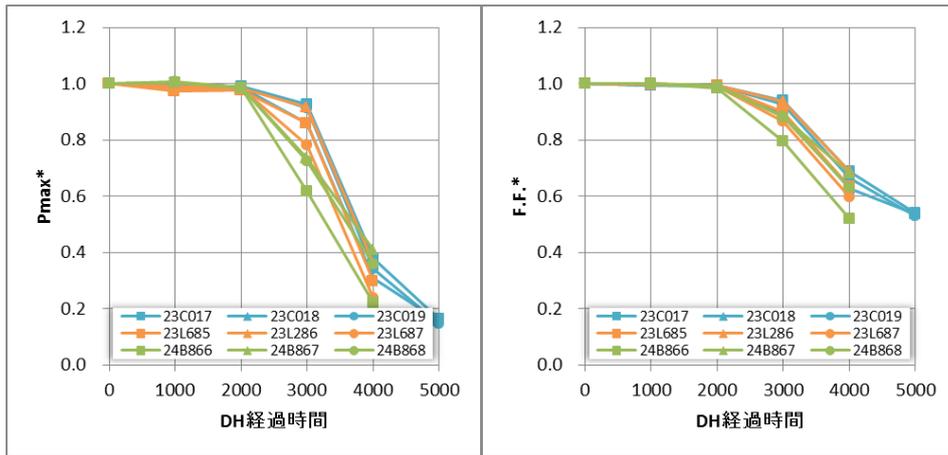
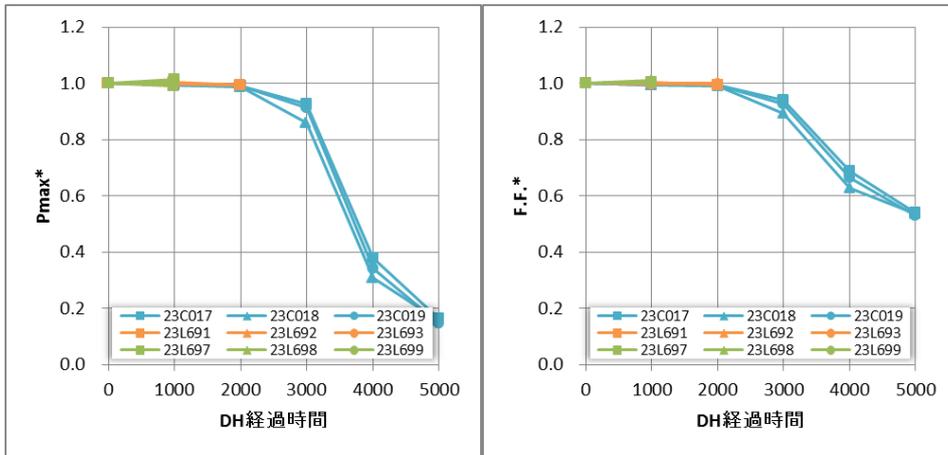


図 6.3.3. DH 試験前後の結晶系標準モジュールの EL 画像

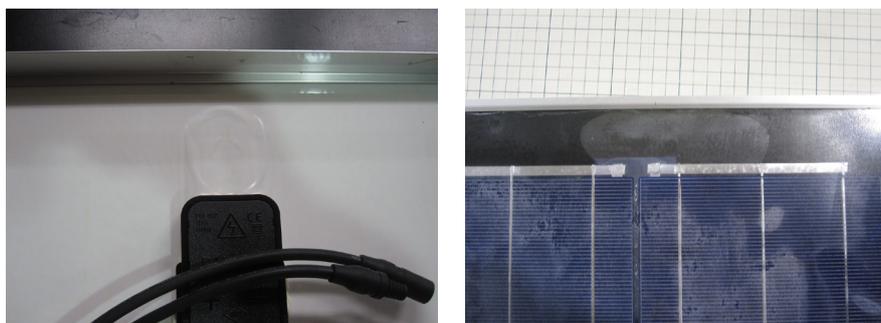


(水色、オレンジ：FC EVA/TPT、黄緑：SC EVA/TPT)



(水色：TPT、オレンジ：シリカ蒸着、黄緑：アルミ入りバックシート)

図 6.3.4. 結晶系標準モジュールにおける DH 試験による特性変化



(左：シリカ蒸着バックシート、右：アルミ入りバックシート)

図 6.3.5. DH1000 時間後の端子ボックス付近の外観写真

6.3.2. 結晶ミニサイズ標準モジュールの作製内容および TC 試験結果

図 6.3.6 には第Ⅱ期で産総研が作製した結晶ミニサイズ標準モジュールの TC/HF 試験状況を示す。

TC		n数	TC50HF10	TC200	TC400	TC600	TC800	TC1000	TC1200
c-Si	Normal	3							
		3							
		3							
	Normal (新セル)	3							
	シリカ蒸着	3							
	PAP	3							
SC EVA	3								

図 6.3.6. ミニサイズ結晶系標準モジュールの TC 試験状況

結晶ミニサイズ標準モジュールの TC 試験後に観察された変化を以下にまとめる。

- 1) 結晶系モジュールの TC/HF 試験では、図 6.3.7 中に丸印で囲んで示すように、試験前には見られなかったフィンガー電極に沿った暗輝度部が試験後に見られるようになった。結晶系標準モジュールのバスバー電極とフィンガー電極の接続部にダメージが生じ、フィンガー電極からのキャリアの収集が低減した可能性が考えられる。
- 2) 曲線因子は使用部材には依存せず、試験が進むにつれて徐々に低下することが確認された。稀に図 6.3.8 のようにバスバー上のタブ線接着部の不具合もしくは横タブ線のはんだ接合部の不具合により電流に偏りが生じると、曲線因子が急激に低下することが確認された。
- 3) 結晶系モジュールの TC/HF 試験では、図 6.3.9 に示すように経過サイクル数の増加とともに曲線因子の低下が見られたが、DH 試験のような大幅な出力低下は見られなかった。TC1000 以降のバラつきは図 6.3.10 に示すようにタブ線接着部の不具合により一部のモジュールで直列抵抗が増加したためと見られる。

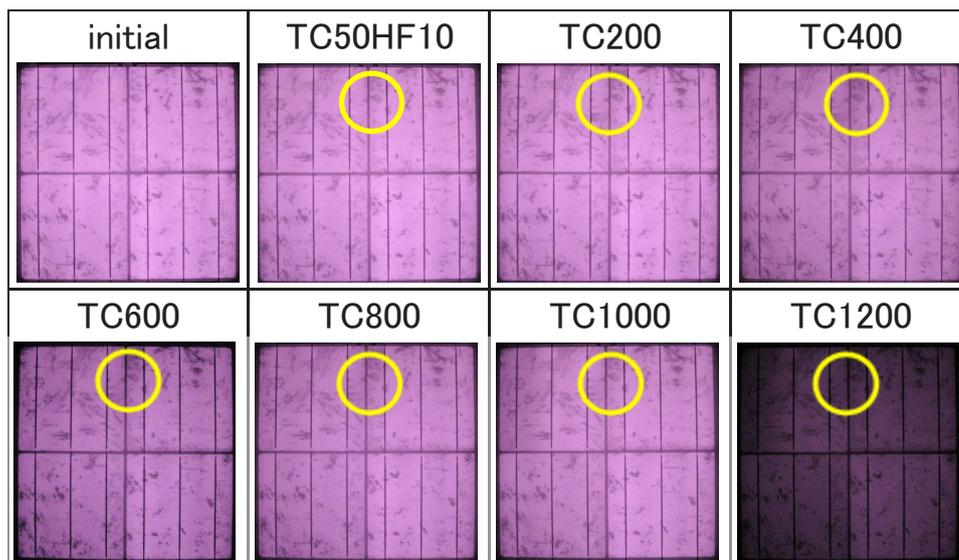


図 6.3.7. 結晶系標準モジュールの TC/HF 試験後の EL 画像

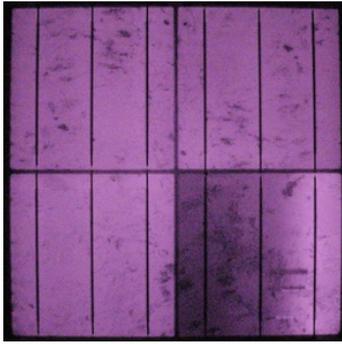


図 6.3.8. TC400 試験後に観測された暗輝度部

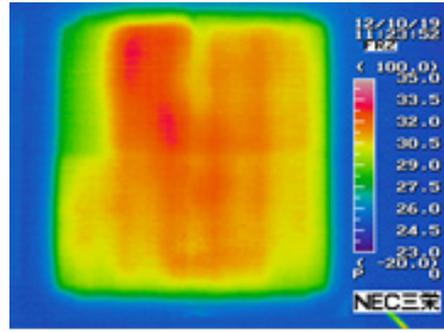
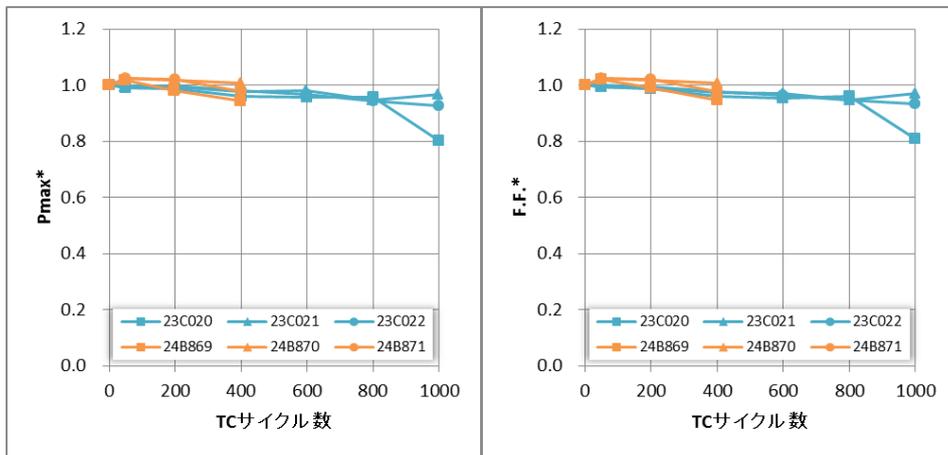
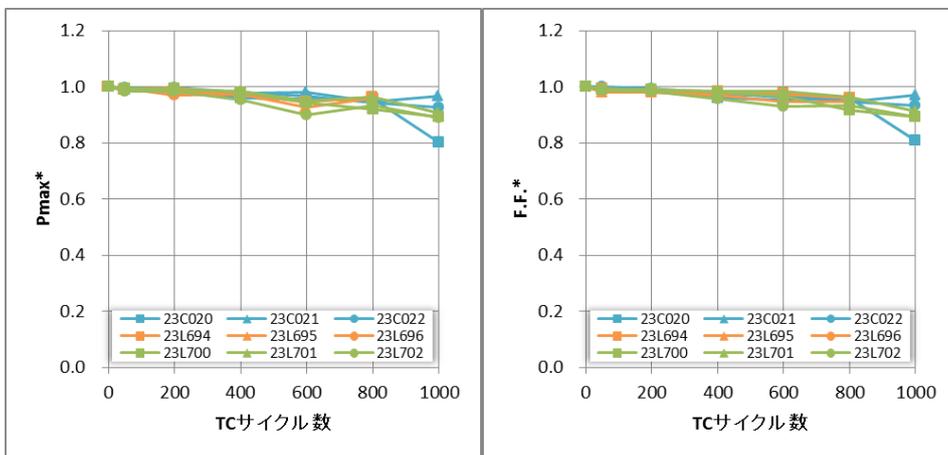


図 6.3.10. TC1200 後のサーモ画像



(水色 : FC EVA/TPT、オレンジ : SC EVA/TPT)



(水色 : TPT、オレンジ : シリカ蒸着、黄緑 : アルミ入りバックシート)

図 6.3.9. 結晶系標準モジュールにおける TC 試験による特性変化

6.3.3. 結晶ミニサイズ標準モジュールの作製内容および DH、TC 混合試験結果

図 6.3.11 には第 II 期で産総研が作製した結晶ミニサイズ標準モジュール DH、TC 混合試験状況を示す。

DH→TC		n数	DH1000	DH1000+TC200	DH2000+TC200	DH2000+TC400	DH3000+TC400
c-Si	Normal	3					
		3					

DH2000→TC		n数	DH1000	DH2000	DH2000+TC200	DH2000+TC400	DH2000+TC600
c-Si	Normal	3					

DH3000→TC		n数	DH1000	DH2000	DH3000	DH3000+TC200	DH4000+TC400
c-Si	Normal	3					

DH4000→TC		n数	DH1000	DH2000	DH3000	DH4000	DH4000+TC200
c-Si	Normal	3					

図 6.3.11. ミニサイズ結晶系標準モジュールの DH/TC 混合試験状況

結晶ミニサイズ標準モジュールの DH/TC 混合試験後に観察された変化を以下にまとめる。なお、図 6.3.13、図 6.3.15 において破線以外のデータは横軸に対応している。

- 1) 図 6.3.12 に示すように、DH 試験と TC 試験を交互に試験すると、フィンガー電極に沿った暗輝度部が TC 試験単独の場合よりも早く見られた。
- 2) 図 6.3.13 に示すように、結晶系モジュールの DH3000 での低下は 1 割未満であるのに対し、結晶系モジュールの DH 試験と TC 試験を交互に DH3000 まで試験すると、3 割以上低下した。
- 3) 図 6.3.14 に示すように DH3000 以上の試験後に TC 試験を行うと、フィンガー電極に沿った暗輝度部が多数発生することが確認された。
- 4) 図 6.3.15 に示すように、DH3000 以上の試験後に TC 試験を行うと、TC 試験単独の場合よりも劣化が加速された。
- 5) DH 試験、TC 試験単独ではバックシートの亀裂は生じなかったが、DH・TC 混合試験および DH 試験後に TC 試験を行うと、バックシートに亀裂が入ることが確認された(図 6.3.16)。

	initial	DH1000	DH1000+TC200	DH2000+TC200	DH2000+TC400	DH3000+TC400
23E135						

図 6.3.12. 結晶系標準モジュールにおける DH・TC 混合試験後の EL 画像

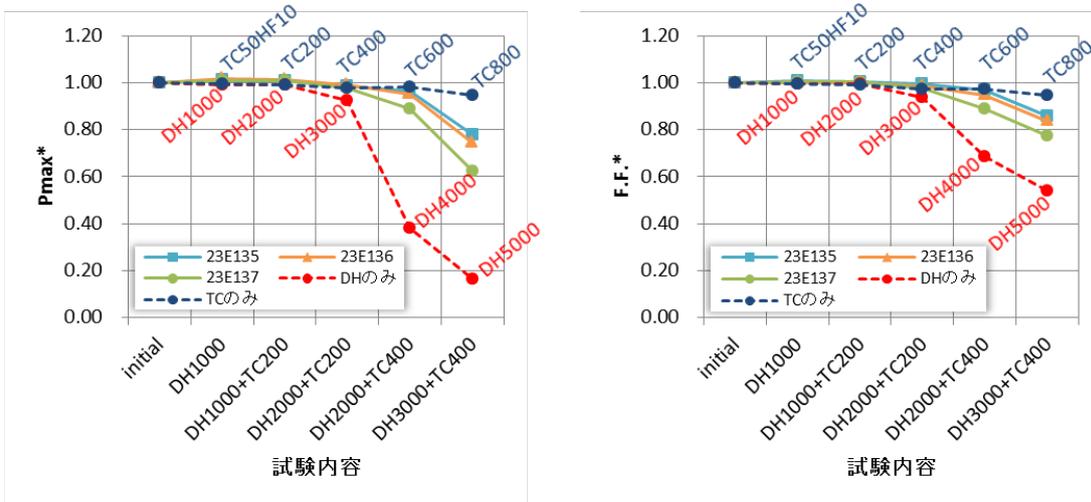
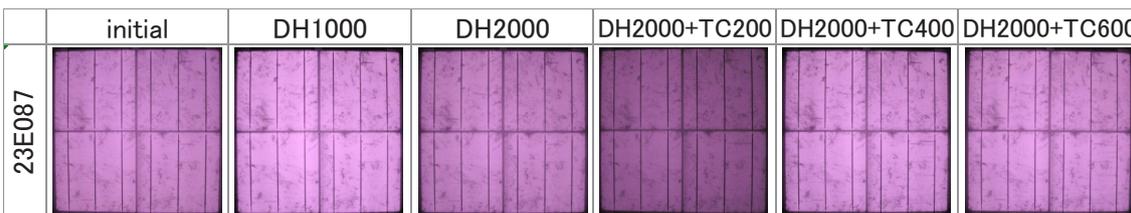
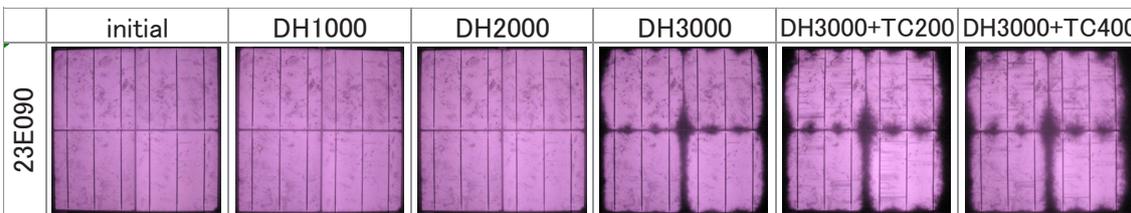


図 6.3.13. 結晶系標準モジュールにおける DH・TC 混合試験による特性変化

【DH2000 後に TC 試験】



【DH3000 後に TC 試験】



【DH4000 後に TC 試験】

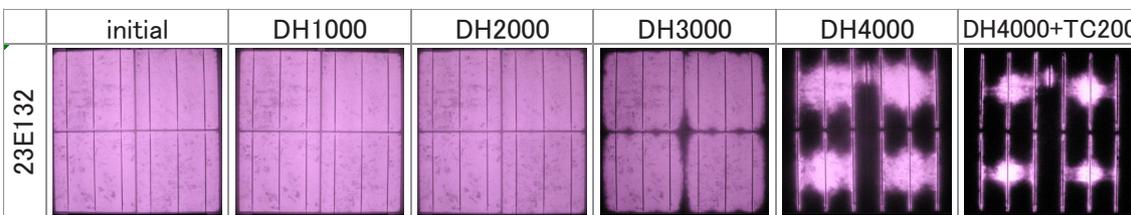
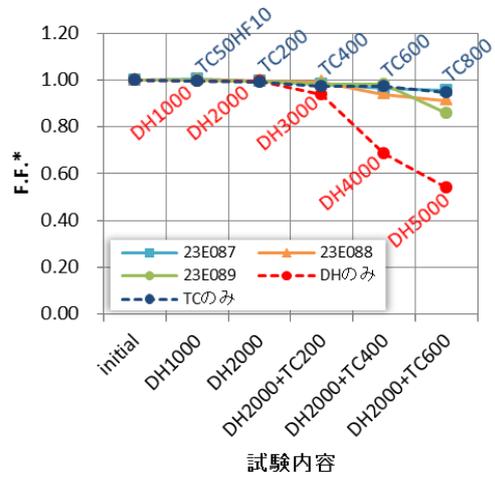
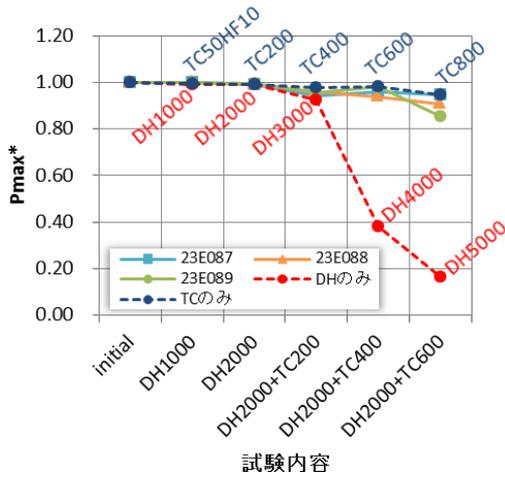
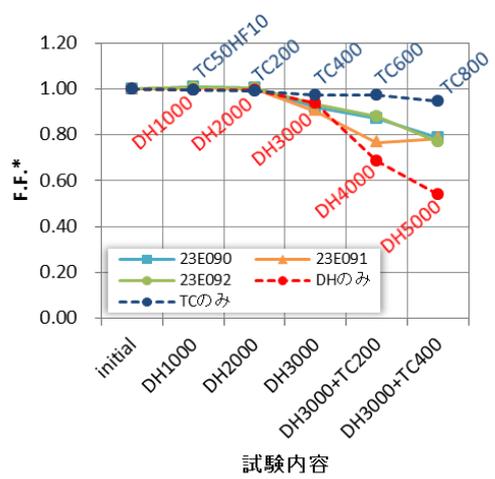
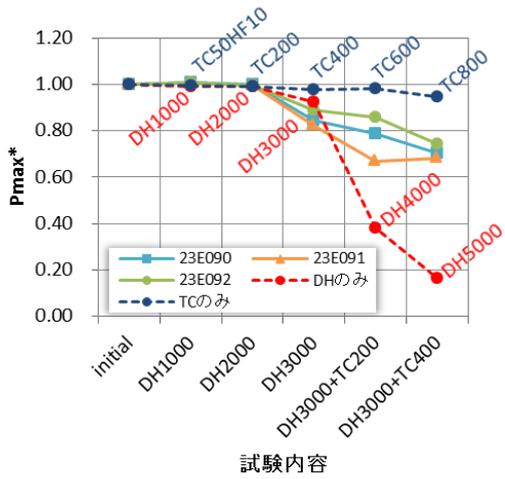


図 6.3.14. 結晶系標準モジュールにおける DH 試験後の TC 試験による EL 画像の変化

【DH2000 後に TC 試験】



【DH3000 後に TC 試験】



【DH3000 後に TC 試験】

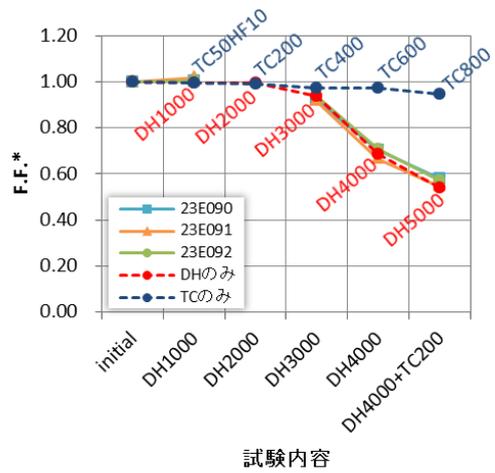
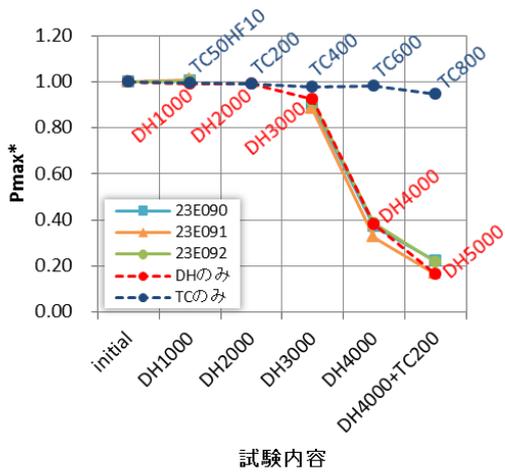


図 6.3.15. 結晶系標準モジュールにおける DH 試験後の TC 試験による特性変化



(左 : DH3000→TC200 後 右 : DH4000→TC200 後)

図 6.3.16. 結晶系標準モジュールにおける DH/TC 混合試験後の外観写真

6.3.4. 薄膜ミニサイズ標準モジュールの作製内容および DH 試験結果

第 I 期コンソーシアムにおいて、薄膜モジュールでは端子箱へのタブ線取り出し部分の穴から浸入する水分に起因して、端子箱周辺部に暗輝度部が広がることが確認されたため、図 6.3.17 で示すようにタブ線取り出し方法の検討も行った。また、端部からの暗輝度の広がり方を確認するために、図 6.3.18 のように周辺シール方法を変え DH 試験を行った。なお、すべてのモジュールにおいてアルミ入りバックシートを用いているので、基本的に水分浸入経路はタブ線取り出し部分の穴ならびにエッジ部に限定されると考えられる。

<p>カプトテープ 穴</p>		<p>ブチル</p>
32 mm×9 mm の穴 34 mm×20 mm のカプト ンテープ	2 mm×1 mm の穴 2 つ 1.5 mm 幅のカプトンテー プを巻きこむ	2 mm×1 mm の穴上に少量 のブチルを塗布し、穴をふ さぐ

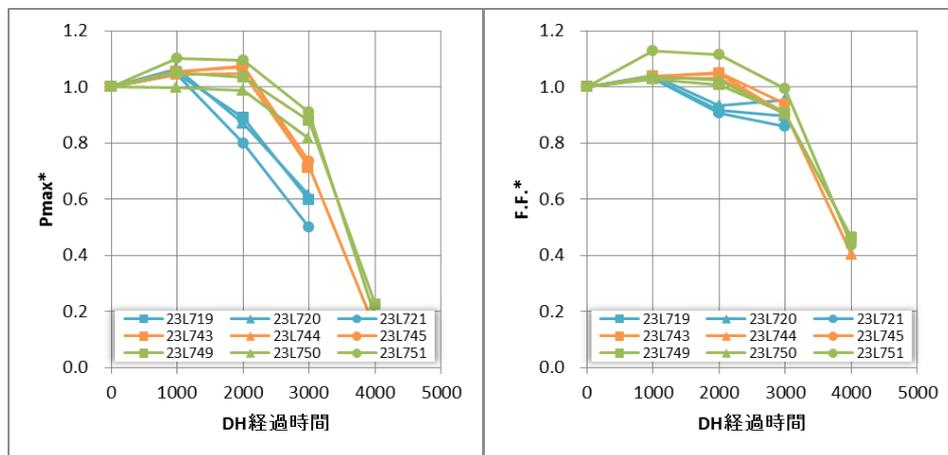
図 6.3.17. 薄膜モジュールのタブ線取り出し方法

4 辺シリコーン	4 辺ブチル (フレームなし)	ブチル上下 2 辺のみ (左右シール材なし)	ブチル左右 2 辺のみ (上下シール材なし)

図 6.3.18. モジュール外観写真 (周辺シールの比較)

薄膜ミニサイズ標準モジュールの DH 試験後に観察された変化を以下にまとめる。

- 1) アルミバックシートの薄膜モジュールにおいて、図 6.3.19 に示すように、端子箱へのタブ線取り出し部分の穴の大きさを小さくすると最大出力の低下率が抑えられることが確認された。穴のサイズを最小の 2 mm×1 mm にすると、バックシートへ穴を開けずにモジュール端部からタブ線を取り出したモジュールとほとんど変わらなかった。
- 2) アルミバックシートの薄膜モジュールにおいて、図 6.3.20 に示すように、DH2000 時間後の EL 観察により端子箱周辺部に暗輝度部が見られた。タブ線取り出しのための穴を小さくすると、暗輝度部の拡大および太陽電池特性の低下を遅らせることができることが確認された。
- 3) 図 6.3.21 に示すようにスクライブ線に対して垂直な辺から暗輝度部が広がることが確認された。下の辺よりも上の辺からの暗輝度部が広いのは、上の辺からタブ線を取り出しているためだと思われる。



(水色: BS 32 mm×9 mm の穴、オレンジ: BS 2 mm×1 mm の穴 2 つにプチルで穴埋め、黄緑: BS に穴をあけず端部からタブ線取り出し)

図 6.3.19. 薄膜系標準モジュールにおける DH 試験による特性変化

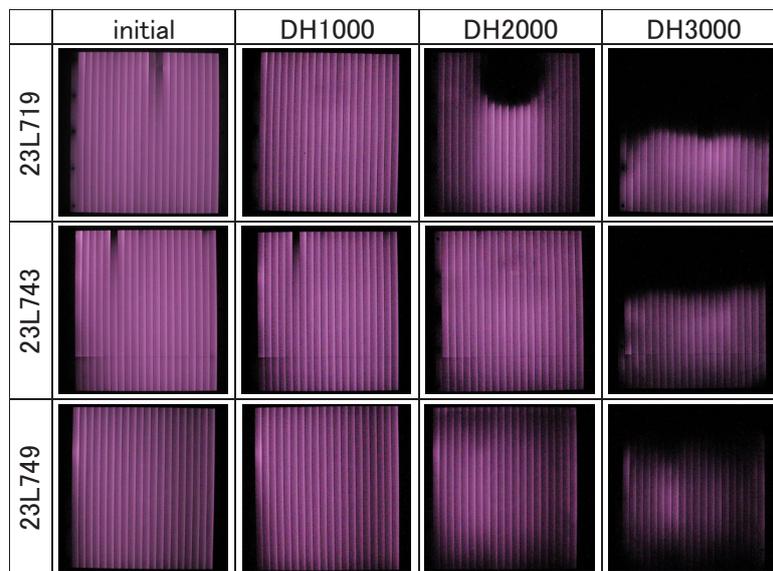


図 6.3.20. DH 試験後の 18 cm 角薄膜系標準モジュールの EL 画像

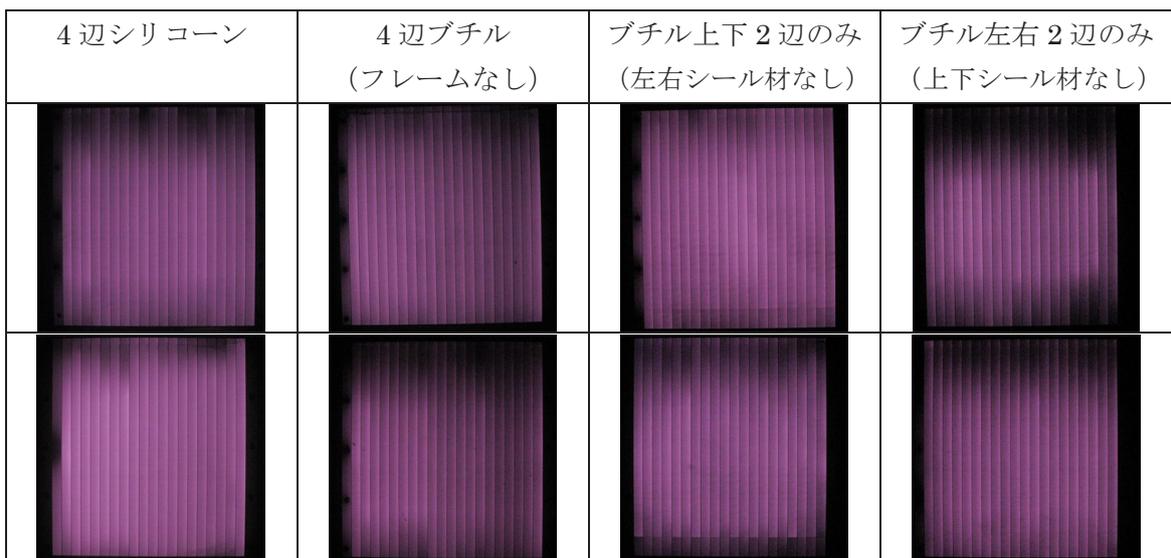
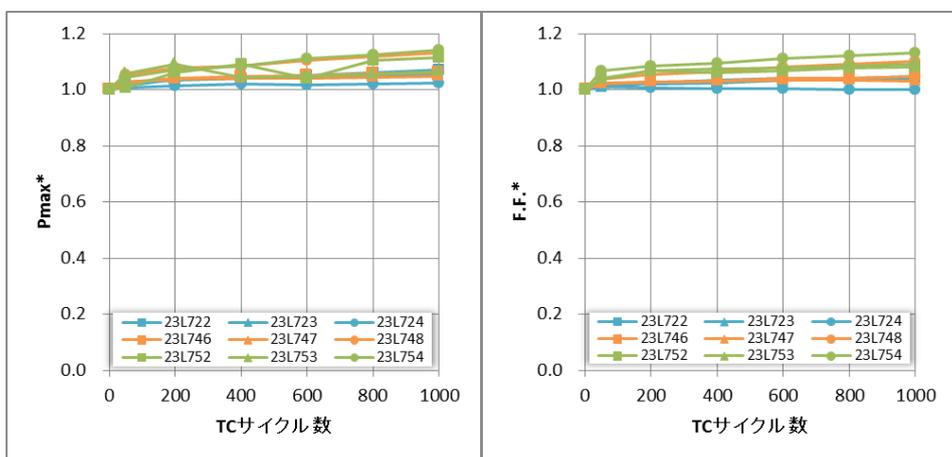


図 6.3.21. DH2000 試験後の 18 cm 角薄膜系標準モジュールの EL 画像 (N=2、周辺シールの比較)

6.3.5. 薄膜ミニサイズ標準モジュールの作製内容および TC 試験結果

薄膜ミニサイズ標準モジュールの TC 試験後に観察された変化を以下にまとめる。

- 1) 図 6.3.22 に示すように、薄膜モジュールの TC/HF 試験では、アニール効果により特性が向上することが確認された。
- 2) 図 6.3.23 に示すように、薄膜モジュールの TC/HF 試験後の EL 観察では、現時点では大きな変化は見られなかった。今後も試験を継続する予定である。



(水色: BS 32 mm×9 mm の穴、オレンジ: BS 2 mm×1 mm の穴 2 つにブチルで穴埋め、黄緑: BS に穴をあけず端部からタブ線取り出し)

図 6.3.22. 薄膜系標準モジュールにおける TC 試験による特性変化

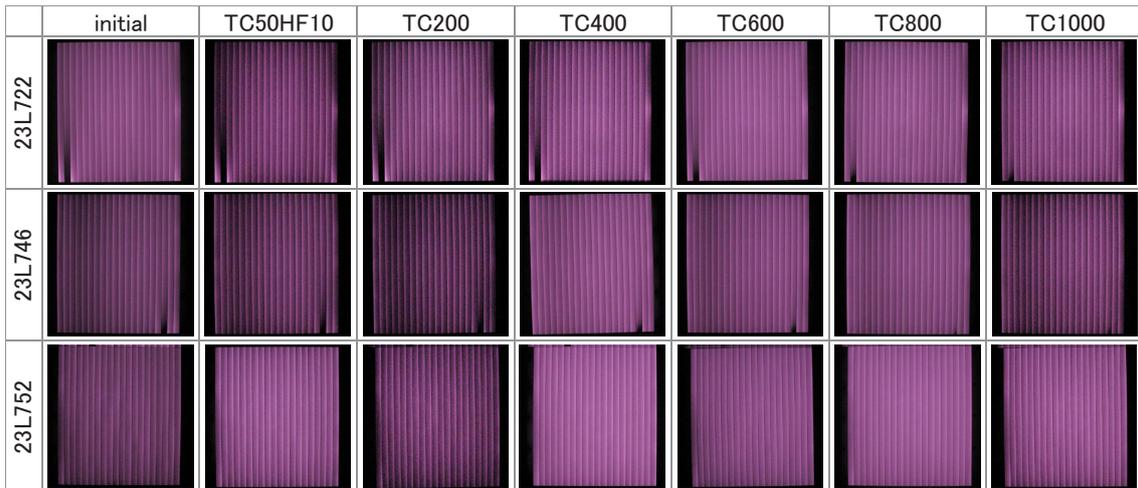
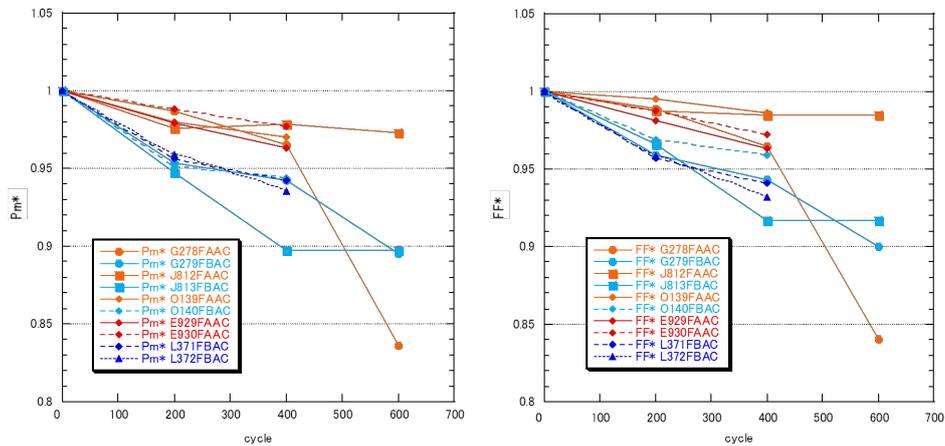


図 6.3.23. 薄膜系標準モジュールにおける TC 試験前後の EL 画像

6.3.6. 結晶系モジュールに対する通電サイクル試験結果

結晶系モジュールに対する通電サイクル試験の結果を図 6.3.24 に示す。通電有無により差異が生じることを予想したが、通電の有無ではほとんど差異が生じず、むしろ EVA が Fast Cure タイプであるか Standard Cure タイプであるかによる差異の方が大きかった。EL 観察を行ったところ、フィンガー線に沿った暗輝度部が確認され、バスバー線とフィンガー線の接続部の断線等が示唆された。Fast Cure タイプの EVA を用いたモジュールの通電試験では、3 サンプルのうち 1 サンプルにおいて、試験時間 600 時間で特性が大きく劣化しており、再現性の確認も含めて今後も試験を継続する。



(オレンジ：通電あり FC/TPT、水色：通電あり SC/TPT、赤：通電なし FC/TPT、青：通電なし SC/TPT)

図 6.3.24. 結晶系標準モジュールに対する通電サイクル試験の結果

結晶系モジュールに対する紫外光照射試験の結果を図 6.3.25 に示す。600 時間経過後は最大出力に低下が見られた。これは EVA が黄変し電流が低下したためである。

結晶系モジュールに対する複合加速試験の結果を図 6.3.26 に示す。経過時間の増加とともに最大出力値に低下が見られ、照射+低温サイクル試験を行ったモジュールの方が、低

下が一層大きいように見える。また図 6.3.27 中に丸印で示すように、照射+低温サイクル試験 800 時間後の EL 観察では、タブ線の不具合やバスバー電極とフィンガー電極の接続部のダメージによる暗輝度部が生じた。これらの理由により直列抵抗が増加し曲線因子の低下につながったと考えられる。

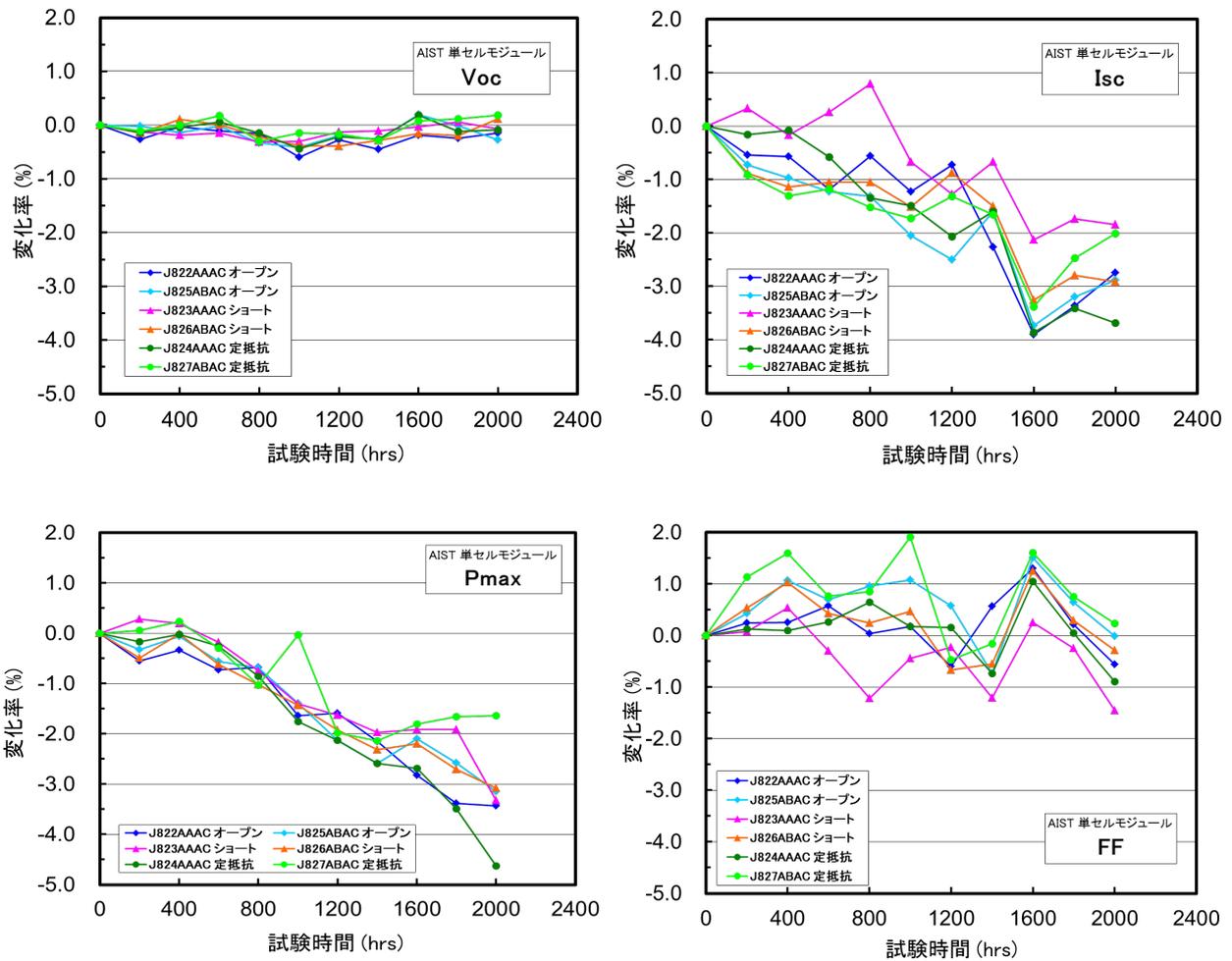
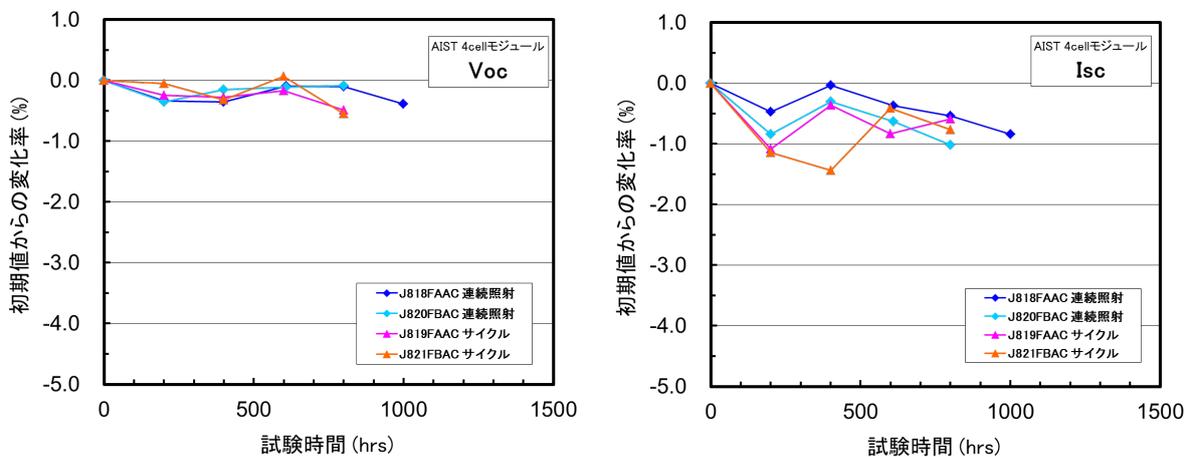


図 6.3.25. 結晶系標準モジュールに対する紫外光照射試験の結果



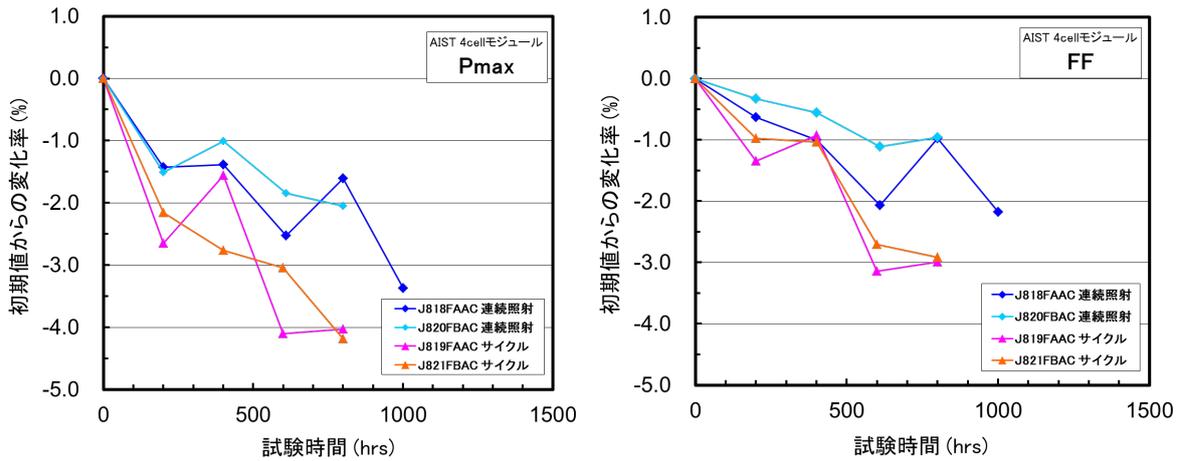


図 6.3.26. 結晶系標準モジュールに対する複合加速試験の結果

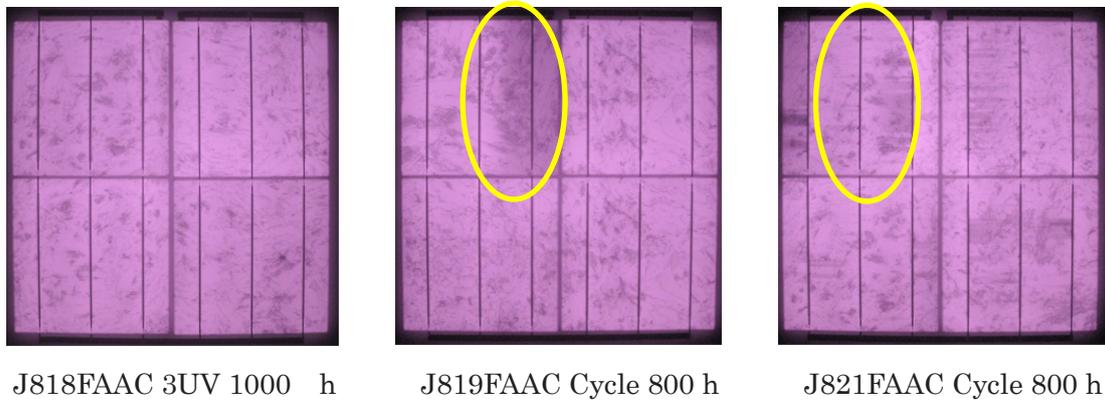


図 6.3.27. サイクル試験 800 時間後の結晶系標準モジュールの EL 画像

(独立行政法人産業技術総合研究所：山本 千津子、井上 昌尚)

6.4. コンソーシアム参加企業のモジュール作製内容および試験結果

2011年4月から2013年12月までのB会員のモジュール作製実績を図6.4.1に示す。B会員のモジュール作製台数は、結晶ミニサイズと薄膜ミニサイズの合計が710台、結晶フルサイズと薄膜フルサイズの合計が75台である。同期間のA会員のモジュール作製台数は、結晶ミニサイズと薄膜ミニサイズの合計が724台、結晶フルサイズと薄膜フルサイズの合計が23台であり、第Ⅱ期で1532台のモジュールを作製したことになる。

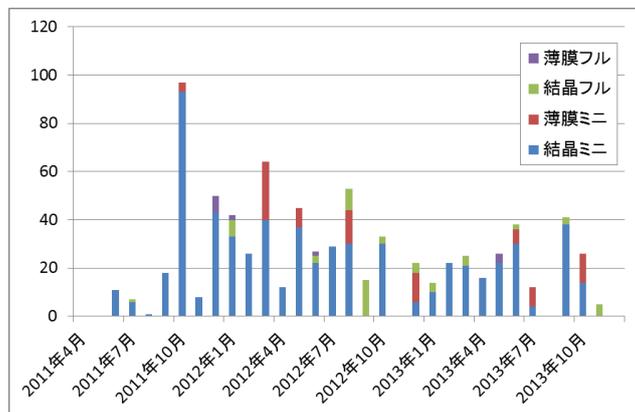
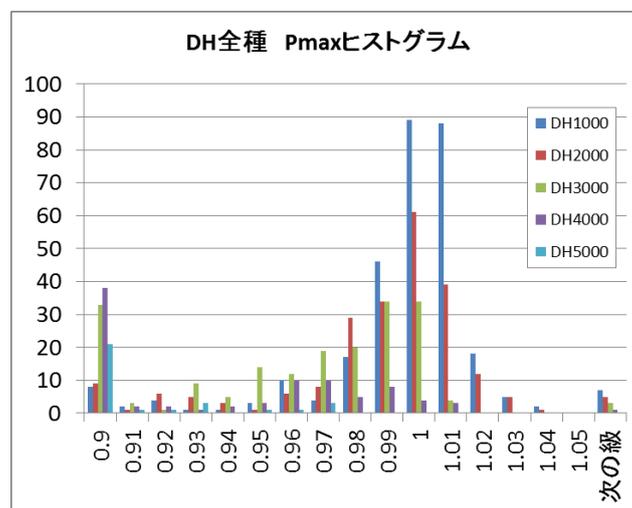


図 6.4.1. 2011年4月から平成2014年1月までのB会員モジュール作製実績

6.4.1. コンソーシアム参加企業が作製した結晶 4 セルモジュールの DH 試験結果

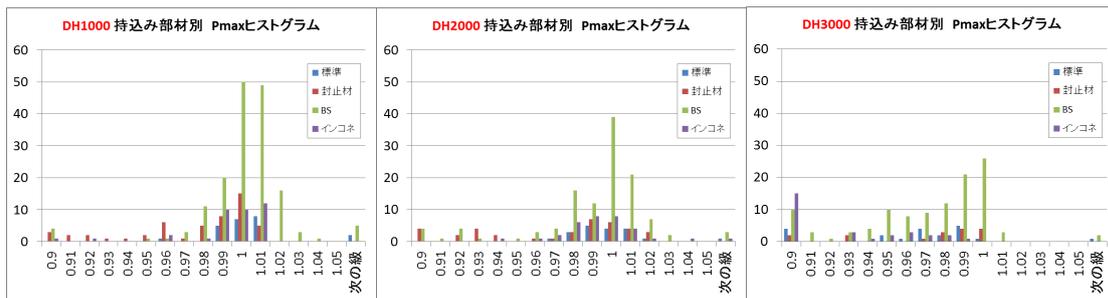
コンソーシアム参加企業が作製したモジュールの DH 試験後に観察された変化を以下にまとめる。なお、図 6.4.2 の横軸に示す数値は、この数値以下の値を代表しており、したがって P_{max} が初期値の 9 割以下になったモジュールは、すべて 0.9 に含まれる。以降に示す図 6.4.3～図 6.4.9 においても同様である。また、図 6.4.2 下部に示すモジュール試験数が試験を延長するに従って減少しているが、これは費用的、時間的關係で試験を中断したモジュールが大半であり、必ずしも著しい劣化が生じたために試験を中断したわけではない。以降に示す図 6.4.3～図 6.4.9 においても同様である。また、場合によっては、試験の延長にともない、 P_{max} の平均値が上昇している場合もあるが、薄膜系モジュールにおけるアニール効果等の本質的な原因に基づくものだけでなく、単に試験モジュールの母数が異なることに起因する場合もある。

- 1) 図 6.4.2 に示すように、最大出力の低下は DH2000 まであまり観測されず、DH3000 以降に劣化が大きく進むことが分かる。
- 2) DH5000 経過後も劣化が 3%未満の信頼性の高いモジュールがある。
- 3) 図 6.4.3 に示すように、DH1000 後では部材による顕著な差は見られない。DH2000 後では、封止材を持ち込んで作製したモジュールにおいて、他のモジュールに比べ劣化した枚数が多い。DH3000 後では、いずれの部材を持ち込んで作製した場合においても、大きな劣化が観測されるが、バックシートを持ち込んで作製したモジュールは他のモジュールに比べて劣化が小さい。
- 4) 標準部材を用いたモジュールのバラつきが大きいのは、ラミネート条件、試験条件、測定条件を変えたものが含まれるからである。



		DH1000	DH2000	DH3000	DH4000	DH5000	DH6000	DH7000
全種類	平均	0.992474	0.981794	0.930498	0.852779	0.697592	0.814341	0.431277
	標準偏差	3.56%	5.63%	12.87%	29.35%	25.64%	4.72%	
	個数	305	225	191	89	31	2	1

図 6.4.2. DH 試験を実施した全結晶 4 セルモジュールの最大出力値の変化



(青：全て標準、赤：封止材のみ持込み、緑：BSのみ持込み、紫：タブ線のみ持込み)

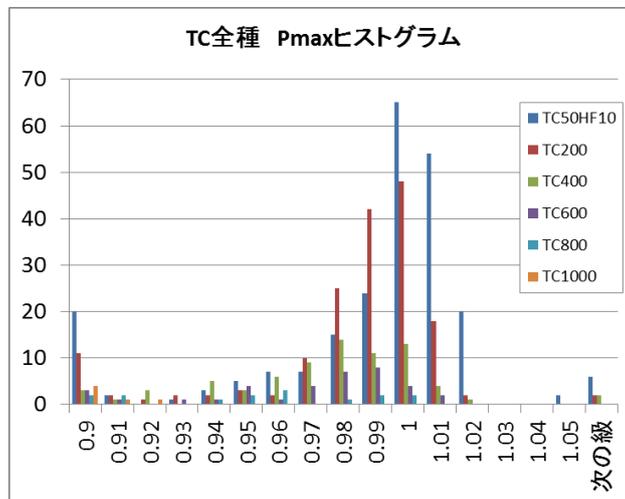
		DH1000	DH2000	DH3000	DH4000	DH5000	DH6000	DH7000
標準	平均	1.009	1.001	0.946	0.789	0.688	0.814	0.431
	標準偏差	5.28%	5.09%	9.10%	19.74%	31.92%	4.72%	-
	個数	23	19	20	8	5	2	1
封止材 持込み	平均	0.969	0.959	0.919	0.965	0.597		
	標準偏差	4.02%	5.89%	15.87%	1.36%	35.34%		
	個数	51	37	16	7	5		
BS 持込み	平均	0.997	0.983	0.953	0.934	0.755		
	標準偏差	3.17%	6.13%	9.81%	29.58%	17.63%		
	個数	164	118	112	53	20		
タブ線 持込み	平均	0.987	0.990	0.845	0.541	0.100		
	標準偏差	2.61%	2.22%	16.97%	24.94%	-		
	個数	37	33	29	14	1		

図 6.4.3. 参加企業が持ち込んだ部材毎に DH 試験後の特性変化をまとめた結果

6.4.2. コンソーシアム参加企業が作製した結晶 4 セルモジュールの TC 試験結果

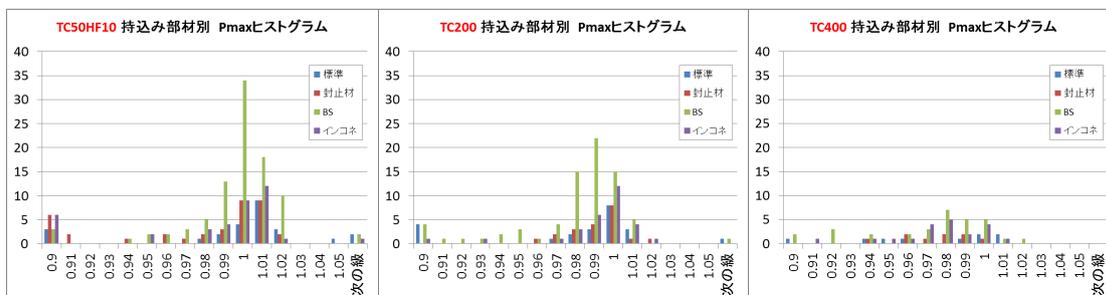
次に、コンソーシアム参加企業が作製したモジュールの TC 試験後に観察された変化を図 6.4.4 と図 6.4.5 に示すとともに、主な特徴を以下にまとめる。

- 1) 試験の進行に伴い劣化は徐々に進行するが、劣化の程度は DH 試験と比較して小さく、ある時点で急激に劣化が進行することはない。
- 2) コンソーシアム参加企業が作製したモジュールの中には、TC800 経過後も劣化が 1% 未満の信頼性の高いモジュールも存在することが示された。
- 3) TC/HF 試験の場合は、DH 試験の場合のような部材による特筆すべき違いは観測されなかった。



		TC50HF10	TC200	TC400	TC600	TC800	TC1000
全種	平均	0.977273	0.972359	0.970324	0.952841	0.947088	0.750852
	標準偏差	0.100464	0.05886	0.041738	0.066047	0.038819	0.185079
	個数	231	170	75	36	15	6

図 6.4.4. TC 試験を実施した全結晶 4 セルモジュールの最大出力値の変化



(青：全て標準、赤：封止材のみ持込み、緑：BS のみ持込み、紫：タブ線のみ持込み)

		TC50HF10	TC200	TC400	TC600	TC800	TC1000
標準	平均	1.010	0.952	0.965	0.957	0.905	0.901
	標準偏差	15.56%	11.93%	4.61%	2.66%	-	-
	個数	25	22	9	4	1	1
封止材 持込み	平均	0.966	0.984	0.967	0.844	0.955	0.651
	標準偏差	5.12%	1.44%	1.89%	13.96%	-	22.98%
	個数	37	20	9	3	1	3
BS 持込み	平均	0.985	0.973	0.963	0.959	0.952	0.826
	標準偏差	6.78%	3.70%	4.26%	6.95%	4.64%	4.60%
	個数	93	75	31	14	4	2
タブ線 持込み	平均	0.967	0.980	0.972	0.963	0.962	
	標準偏差	7.20%	5.10%	2.32%	2.88%	3.41%	
	個数	38	29	20	9	6	

図 6.4.5. 参加企業が持ち込んだ部材毎に TC 試験後の特性変化をまとめた結果

6.4.3. コンソーシアム参加企業が作製した薄膜ミニモジュールの DH 試験結果

次に、コンソーシアム参加企業が作製した薄膜ミニモジュールの DH 試験後に観察された変化を以下にまとめる。

- 1) 図 6.4.6 に示すように、DH1000 後の最大出力はおよそ半数のモジュールに 5% を超える低下が確認された。DH2000 経過時には、約 7 割のモジュールで最大出力が 10% 以上低下したが、大半はバックシートにあけた穴からの水分浸入が影響している。
- 2) DH3000 経過後もほぼ劣化していない信頼性の高いモジュールがある。
- 3) 図 6.4.7 に示すように、部材による特筆すべき違いは観測されなかった。

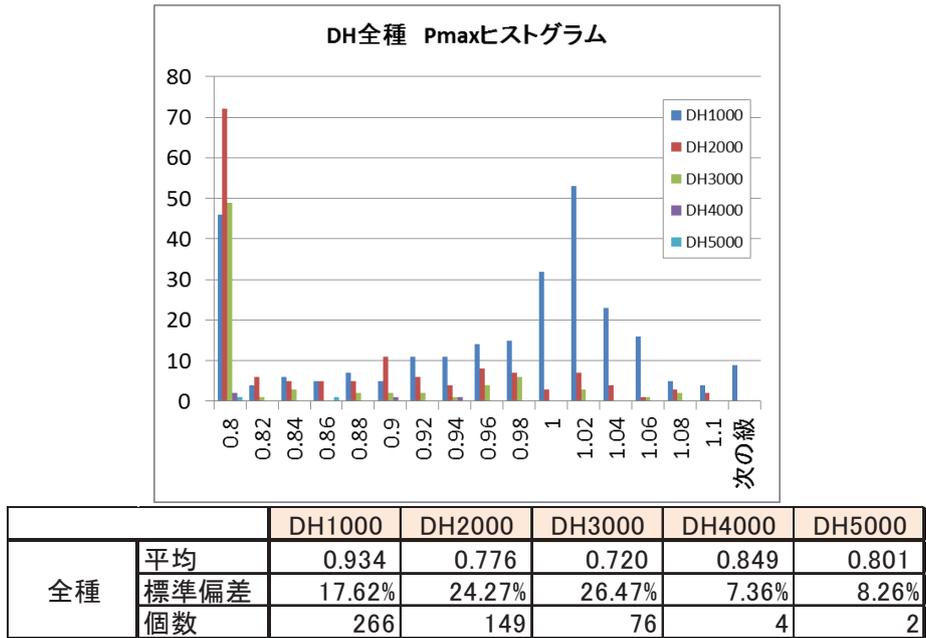
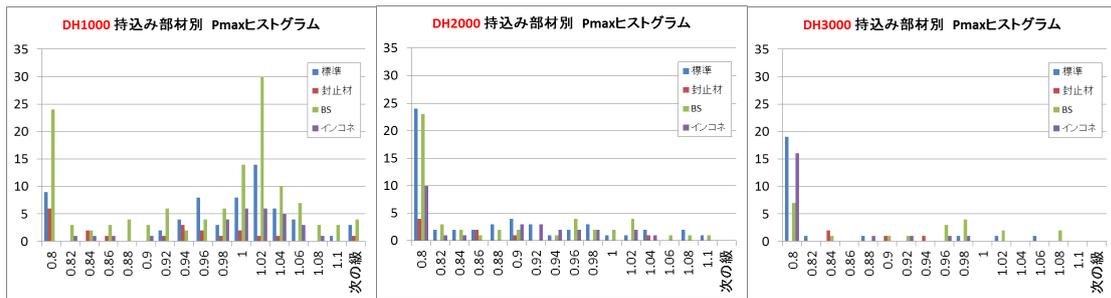


図 6.4.6. DH 試験を実施した全薄膜ミニモジュールの最大出力値の変化



(青：全て標準、赤：封止材のみ持込み、緑：BSのみ持込み、紫：タブ線のみ持込み)

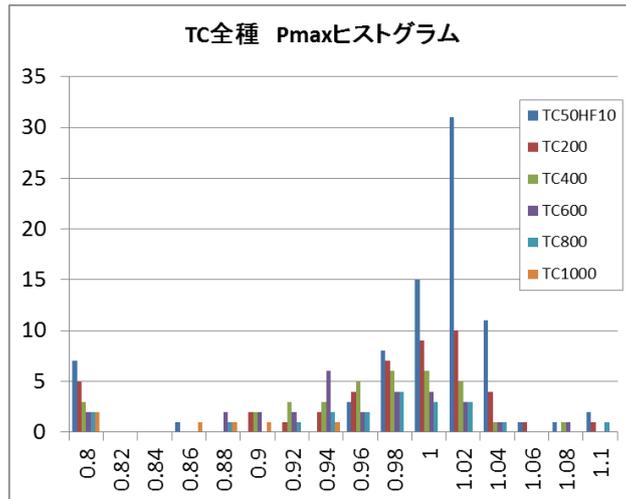
		DH1000	DH2000	DH3000	DH4000	DH5000
標準	平均	0.951	0.773	0.610		
	標準偏差	16.39%	22.23%	21.70%		
	個数	62	53	24		
封止材 持込み	平均	0.823	0.765	0.868	0.789	0.801
	標準偏差	22.59%	19.23%	5.02%	1.21%	8.26%
	個数	21	8	4	2	2
BS 持込み	平均	0.910	0.725	0.839		
	標準偏差	18.16%	27.80%	22.18%		
	個数	128	49	21		
タブ線 持込み	平均	0.987	0.781	0.591	0.909	
	標準偏差	6.15%	23.42%	25.95%	3.98%	
	個数	29	27	20	2	

図 6.4.7. 参加企業が持ち込んだ部材毎に DH 試験後の特性変化をまとめた結果

6.4.4. コンソーシアム参加企業が作製した薄膜ミニモジュールの TC 試験結果

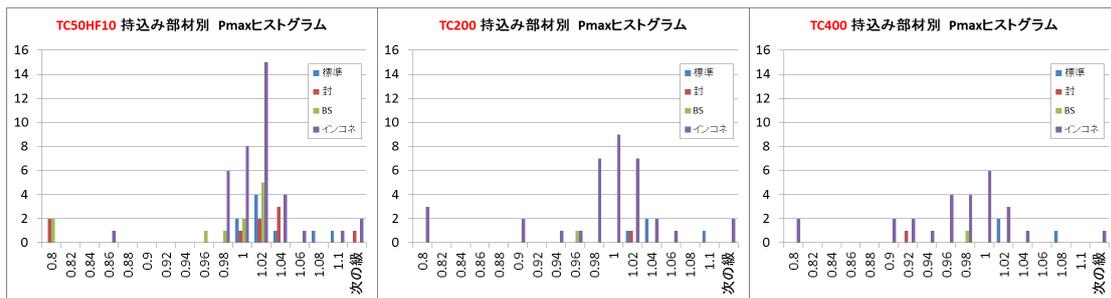
コンソーシアム参加企業が作製した薄膜ミニモジュールの TC 試験後に観察された変化を以下にまとめる。

- 1) 図 6.4.8、図 6.4.9 に示すように、TC400 後も劣化は小さい。



		TC50HF10	TC200	TC400	TC600	TC800	TC1000
全種	平均	0.989	0.975	0.955	0.946	0.948	0.801
	標準偏差	10.77%	11.34%	8.50%	9.33%	9.56%	12.76%
	個数	83	48	36	30	20	6

図 6.4.8. TC 試験を実施した全薄膜ミニモジュールの最大出力値の変化



(青：全て標準、赤：封止材のみ持込み、緑：BS のみ持込み、紫：タブ線のみ持込み)

		TC50HF10	TC200	TC400	TC600	TC800	TC1000
標準	平均	1.025	1.037	1.034	1.016	1.024	
	標準偏差	2.95%	3.51%	3.31%	7.17%	8.73%	
	個数	9	4	3	2	2	
封止材 持込み	平均	0.966	1.011	0.918			
	標準偏差	13.65%	-	-			
	個数	9	1	1			
BS 持込み	平均	0.951	0.951	0.967			
	標準偏差	9.06%	-	-			
	個数	11	1	1			
タブ線 持込み	平均	1.019	0.985	0.957	0.953	0.958	0.747
	標準偏差	9.32%	11.65%	8.43%	8.47%	8.58%	14.12%
	個数	38	35	26	24	14	2

図 6.4.9. 参加企業が持ち込んだ部材毎に TC 試験後の特性変化をまとめた結果
(独立行政法人産業技術総合研究所：山本 千津子、井上 昌尚)

6.5. フルサイズ標準モジュールの作製内容および試験結果

ミニサイズモジュール同様、フルサイズモジュールに対しても、DH試験ならびにTC/HF試験を実施した。図6.5.1には産総研が作製したフルサイズ標準モジュールの試験状況を示す。結晶系フルサイズモジュールにおける、DH試験時間に対する特性変化を図6.5.2に示す。また、代表例として、23D045PAACのI-V特性のDH試験時間に対する変化を図6.5.3に示す。DH試験による出力低下は、直列抵抗の増大にともなうFFの低下に起因することがわかる。図6.5.4には、代表例として23D047PAACモジュールのEL画像のDH試験時間依存性を示す。DH2500～3000時間からセル周辺部に暗部が現れ、試験時間とともに広がっていく様子は、ミニサイズモジュールと同様である。

DH			1000	2000	3000	4000	5000
結晶系	Normal 第2期 1.5mmタブ	23D045PAAC					
		23D046PAAC					
		23D047PAAC					
薄膜系	Normal 第2期 シングル	23J573RACC					
		23J574RACC					
		23J575RACC					
	Normal 第2期 タンデム	24I331RACC					
		24I332RACC					
		24I333RACC					

TCHF、TC			TC50HF10	TC200	TC400	TC600	TC800	TC1000
結晶系	Normal 第2期 1.5mmタブ	23D024PAAC						
		23D025PAAC						
		23D026PAAC						
	Normal 第2期 1.3mmタブ	24I328PAAC						
		24I329PAAC						分解分析
薄膜系	Normal 第2期 シングル	23L739RACC						
		23L740RACC						
		23L741RACC						
	Normal 第2期 タンデム	24I334RACC						
		24I335RACC						試験中
		24I336RACC						試験中

※24I334RACC～24I336RACC の 3 台は端子箱内のポッティングの種類が他と異なる。

図 6.5.1. フルサイズ標準モジュールの試験状況

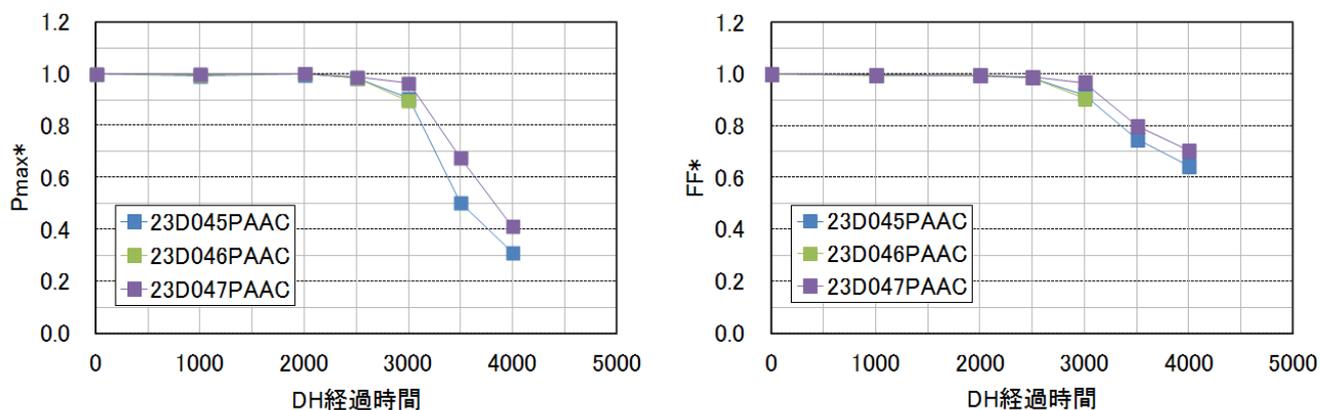


図 6.5.2. 結晶系フルサイズモジュールにおける DH 試験時間に対する特性変化

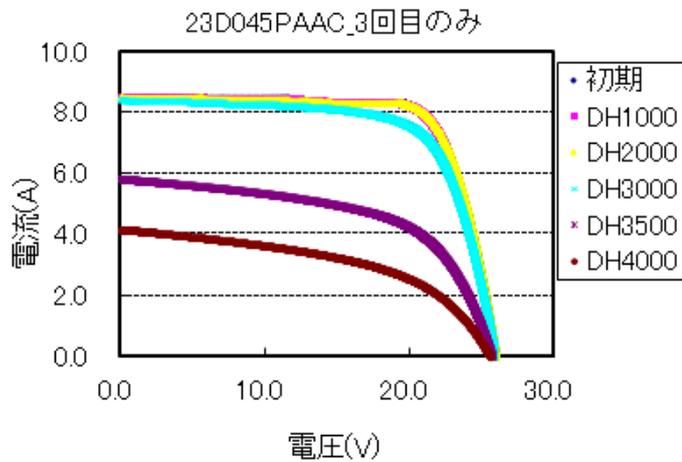


図 6.5.3. 23D045PAAC モジュールの I-V 特性の DH 試験時間依存性

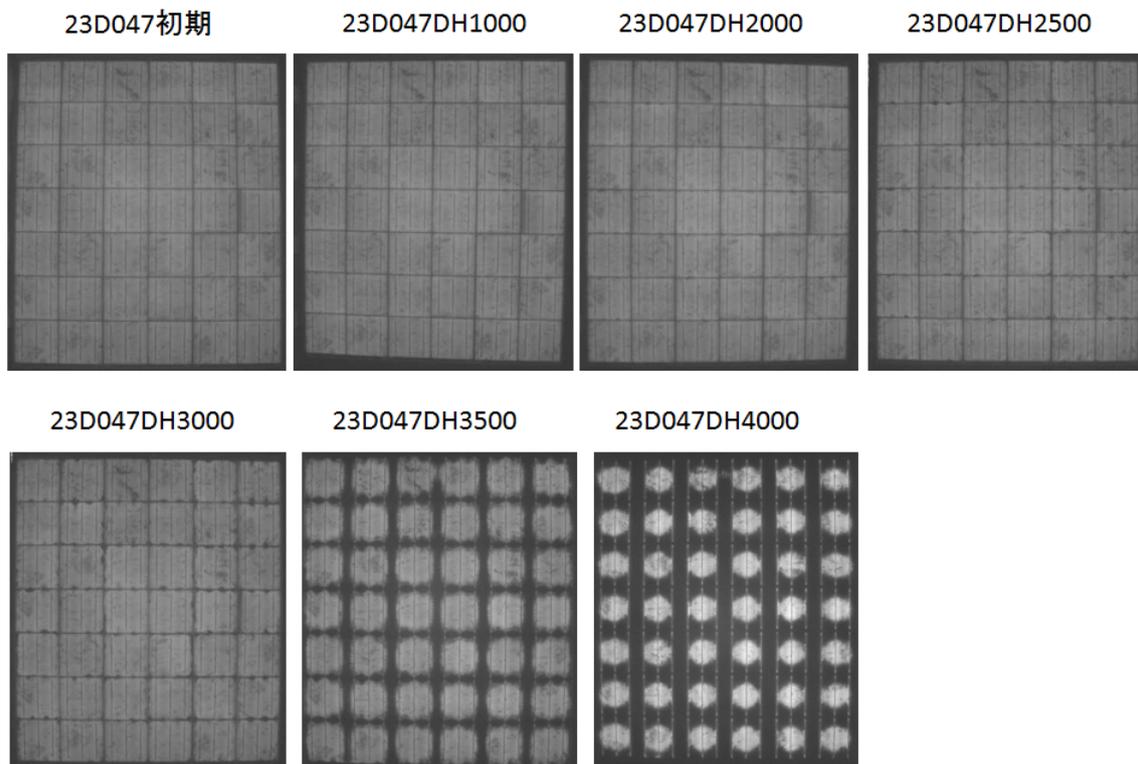


図 6.5.4. 23D047PAAC モジュールの EL 画像の DH 試験時間依存性

次に、結晶系フルサイズモジュールにおける、TC/HF試験サイクル数に対する特性変化を図6.5.5に示す。また、各セルの代表例として、23D025PAAC(1.5mm幅バスバーセル)のI-V特性のTC/HF試験サイクル数に対する変化を図6.5.6に、24I328PAAC(1.3mm幅バスバーセル)のI-V特性のTC/HF試験サイクル数に対する変化を図6.5.7に示す。1.5mm幅バスバーセルと1.3mm幅バスバーセルによる特性の違いや顕著な劣化は観測されなかった。図6.5.8には、代表例として23D024PAACモジュールのEL画像のTC/HF試験サイクル数依存性を、図6.5.9には24I328PAACモジュールのEL画像のTC/HF試験サイクル数依存性を示す。

1.3mm幅のセルに黄色の枠で示すようにフィンガー断線と思われる暗部が見られるものの、I-V特性に影響を及ぼすようなクラックや暗部は見られなかった。

一方、I-V特性やEL画像ではTC/HF試験サイクル数による明確な劣化は見られなかったが、1.3mm幅セルを使用したモジュール3台ともに外観不良となるガラス-封止材間の剥離が見られた。3台のうち2台はTC200終了時、残り1台はTC800終了時に出現した。代表例として24I329PAACモジュールの外観を図6.5.10に示す。さらに図6.5.11には24I329PAACモジュール内で特に顕著なF-3部のTC/HF試験サイクル数による外観変化を示す。サイクル数を追うごとに剥離が拡大していることがわかる。図6.5.12にはF-3部のEL画像と外観との比較画像を示す。剥離部とEL画像の相関は見られない。特性に影響はないものの、市場に出回り実際に曝露されたモジュールにも数は少ないが同様の剥離が見られることが知られている。今回、コアテーマ1で取り扱っていた推定5、6年曝露されたモジュールにそのようなモジュールが数台見られた。剥離のタイプは2種類存在し、ガラス-封止材間の剥離と封止材-セル間の剥離がある。この同型式の屋外曝露モジュール9枚のうち、どのモジュールにもいずれかの剥離が見られた。そのうちの1枚に24I329PAACモジュールに類似した剥離が見られた。その代表例を図6.5.13に示す。双方の類似箇所を破壊分析して比較することにより、加速試験の有効性を検証することを試みた。

分析手段として剥離面形態観察に平面SEM、剥離面組成分析にEPMA、封止材構造変化の評価にFT-IR-ATR、封止材中への金属拡散状態の評価にLA-ICP-MSを用いた。24I329PAACモジュール、屋外曝露モジュールそれぞれ正常部のガラス側と封止材側、剥離部のガラス側と封止材側を分析した。正常部は強制剥離を行い分析した。

EPMA分析では24I329PAACモジュール、屋外曝露モジュールともにNaが検出され、とりわけ剥離部のEVA側に偏在する傾向にあった。FT-IR-ATR分析では、24I329PAACモジュール、屋外曝露モジュールともに、剥離部では正常部と比較して酢酸ナトリウムと考えられるカルボン酸塩が多く存在していた。図6.5.14に示す24I329PAACモジュールの剥離部と正常部の差スペクトルからは、剥離部でカルボン酸が増加していることが推測された。一方、屋外曝露モジュールの剥離部と正常部の差スペクトルからは、カルボン酸の顕著な増加は示唆されなかったが、長期曝露の間に、塩への変性や遊離・拡散した可能性が考えられる。

これらの分析により、24I329PAACモジュール、屋外曝露モジュールのいずれにおいてもガラス由来のNaが酢酸ナトリウムを形成し剥離界面に偏在していることがわかった。加速試験と屋外曝露で類似の剥離現象がみられたことにより、本加速試験が屋外での剥離劣化を再現できる可能性が示唆された。

結晶系フルサイズモジュールのDH試験ならびにTC/HF試験後の最大出力の分布を、それぞれ図6.5.15ならびに図6.5.16に示す。なお、試験後のモジュール台数は、DH1000で46台、DH2000で23台、DH3000で13台、DH4000で6台、TC50/HF10で41台、その後のTC200で22台、TC400で17台、DH600で15台、TC800で8台、TC1000で5台である。DH試験では、DH3000後に急激にばらつきが大きくなっているが、TC/HF試験では通算TC1050/HF10を経てもばらつきは小さい。

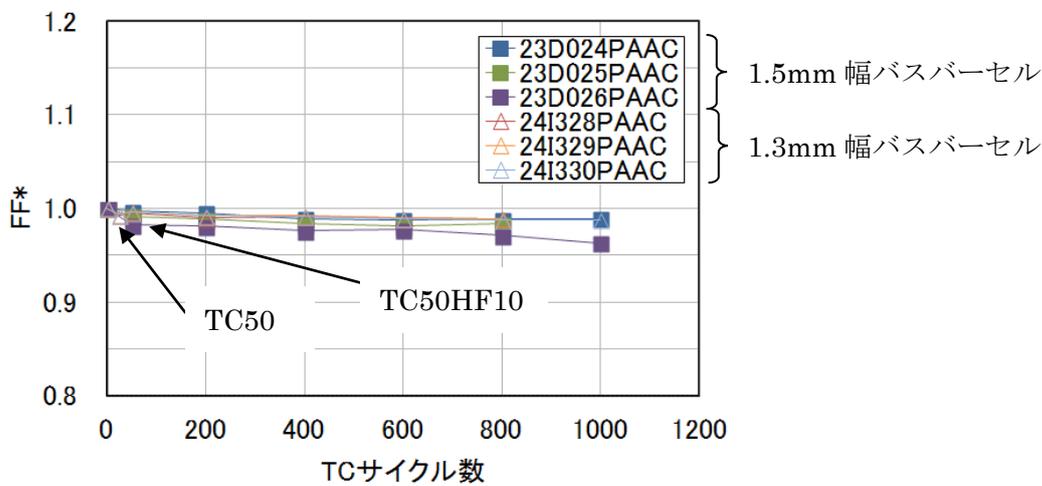
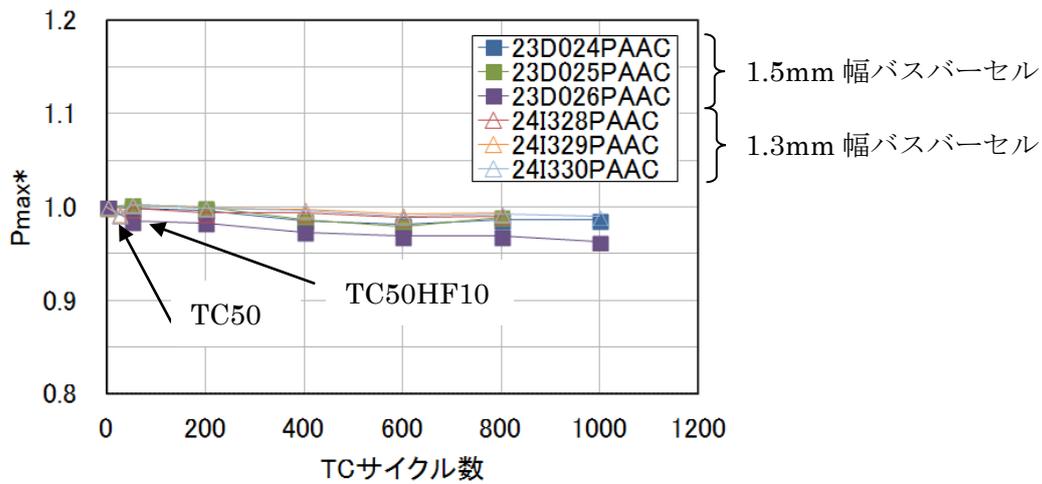


図6.5.5. 結晶系フルサイズモジュールにおけるTC/HF 試験サイクル数に対する特性変化

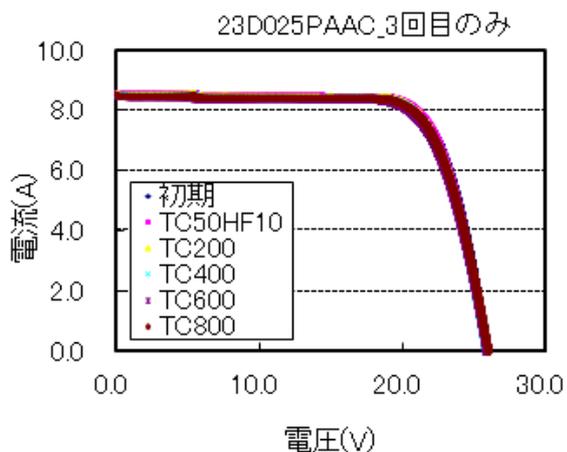


図6.5.6. 23D025PAAC モジュールのI-V特性のTC/HF 試験サイクル数依存性

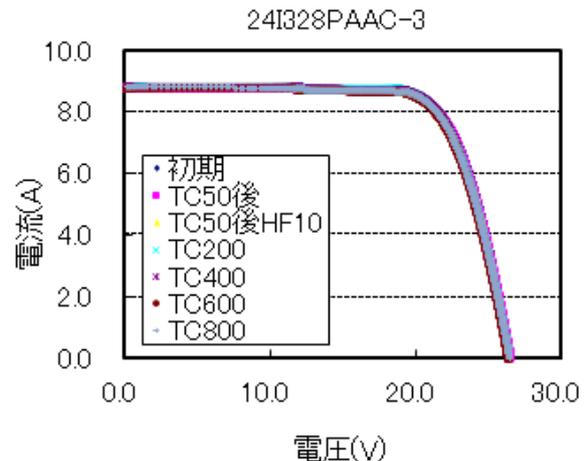


図6.5.7. 24I328PAAC モジュールのI-V特性のTC/HF 試験サイクル数依存性

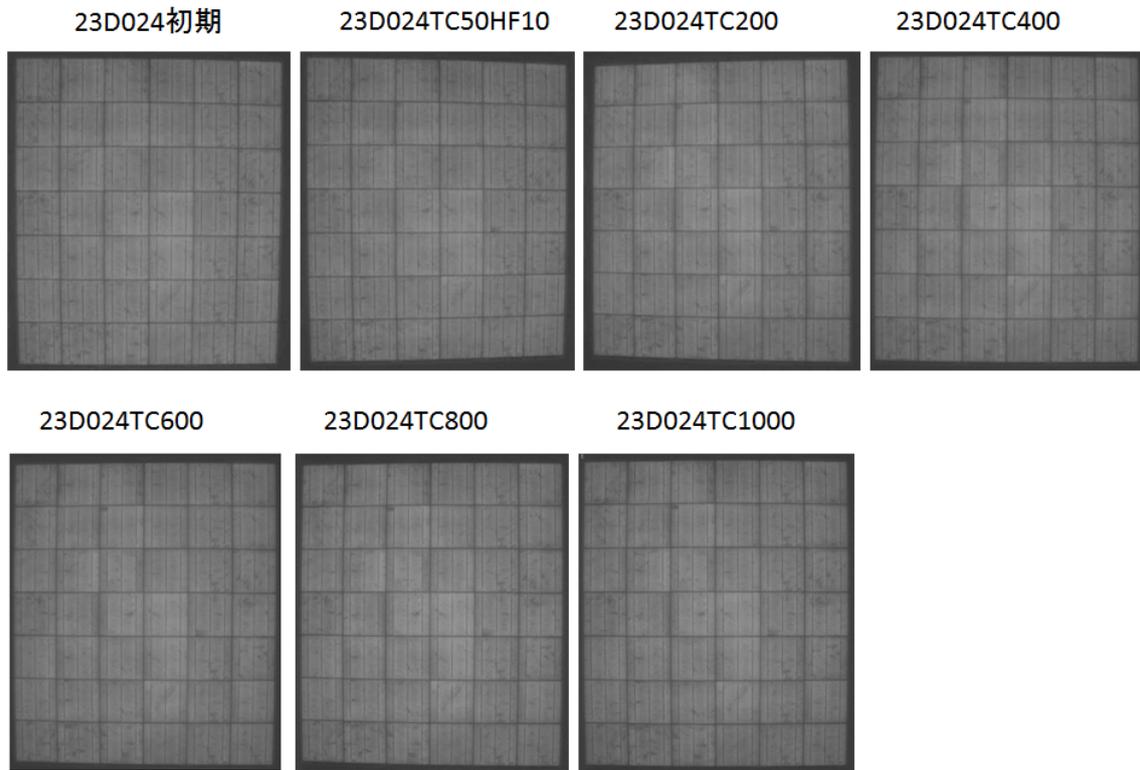


図6.5.8. 23D024PAAC モジュールのEL 画像のTC/HF 試験サイクル数依存性

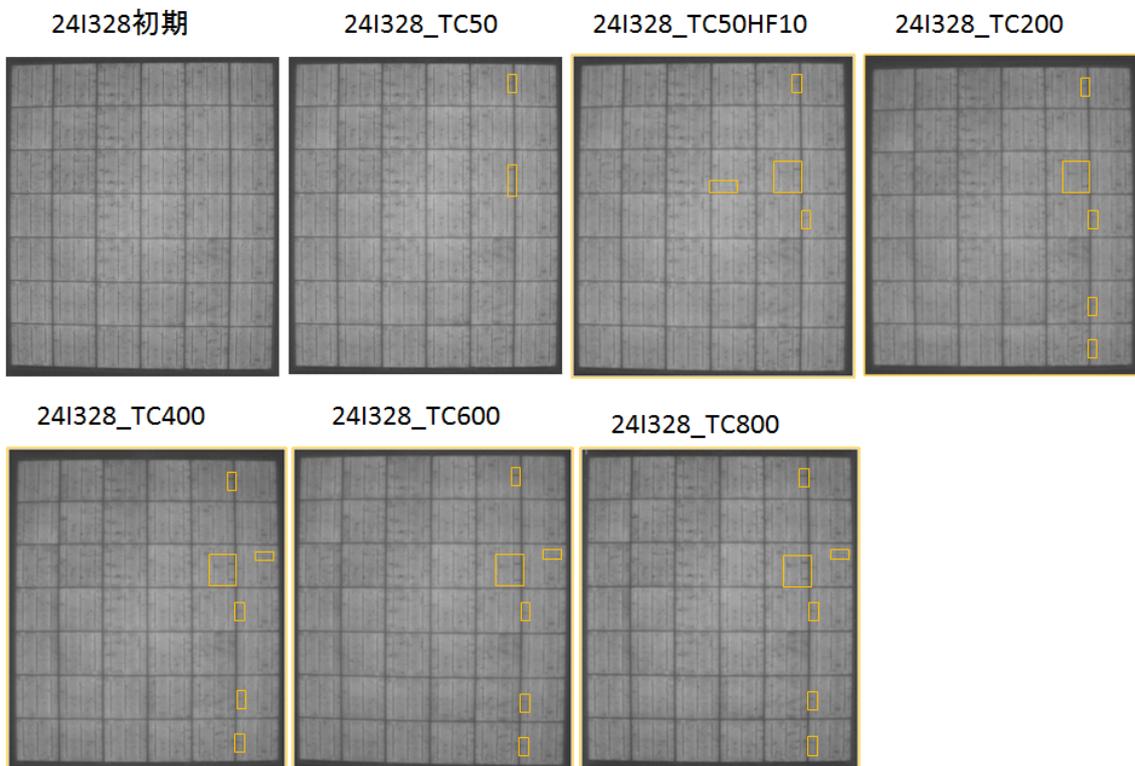


図6.5.9. 24I328PAAC モジュールのEL 画像のTC/HF 試験サイクル数依存性

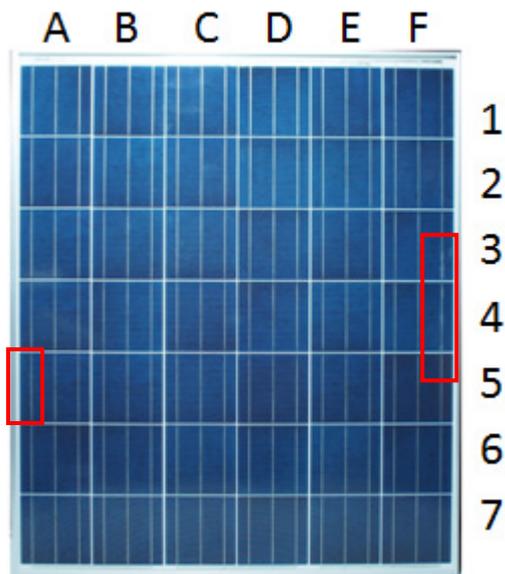


図6.5.10. 24I329PAACモジュールの外観写真（TC800終了後）

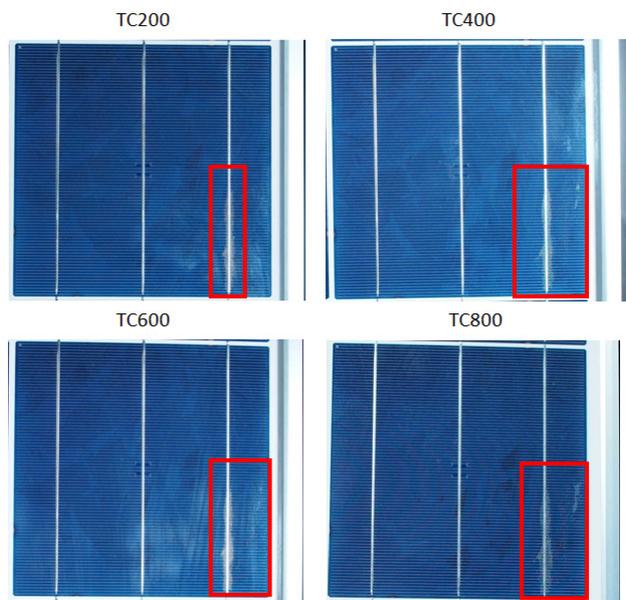


図6.5.11. 24I329PAACモジュール内で特に顕著なF-3部のTC/HF試験サイクル数による外観変化

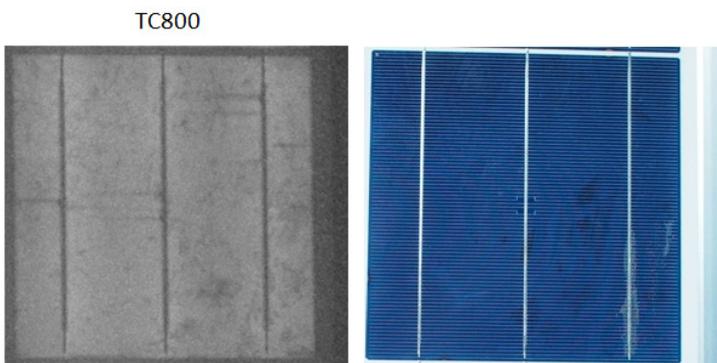


図6.5.12. 24I329PAAC モジュールF-3部のEL画像と外観との比較

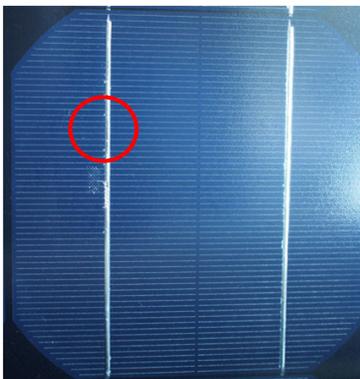


図6.5.13. 屋外曝露モジュールのガラス-封止材間の剥離

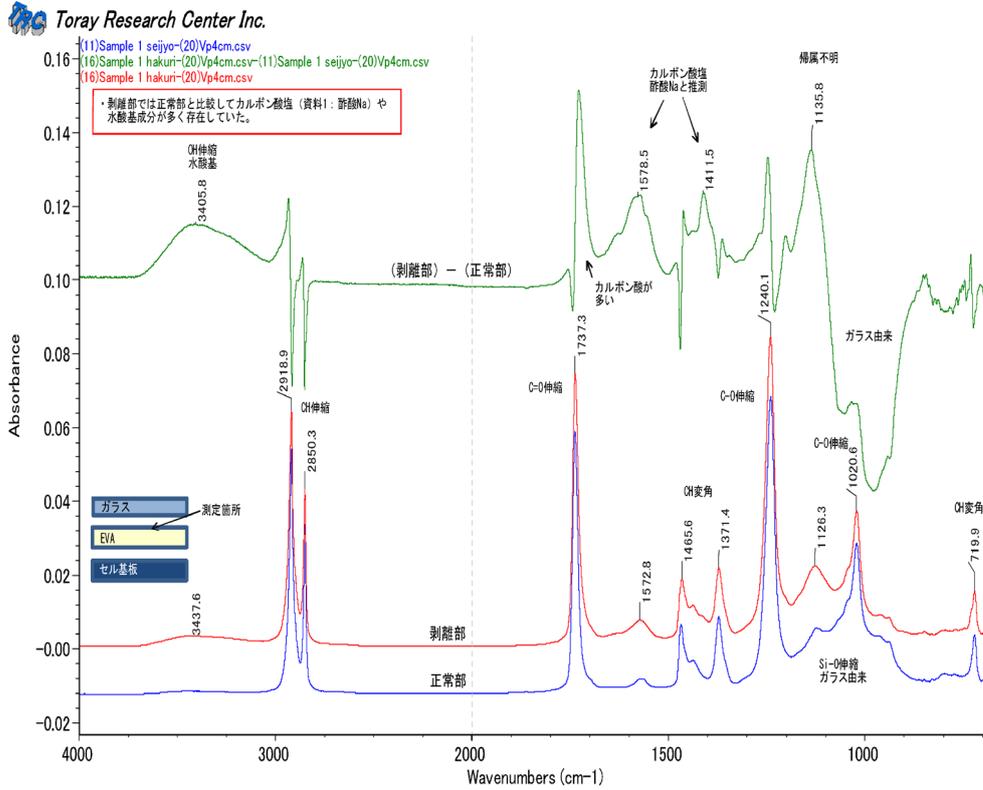


図6.5.14. 24I329PAACモジュールの正常部と剥離部のFT-IR-ATRスペクトル
赤：剥離部、青：正常部、緑：(剥離部)-(正常部)

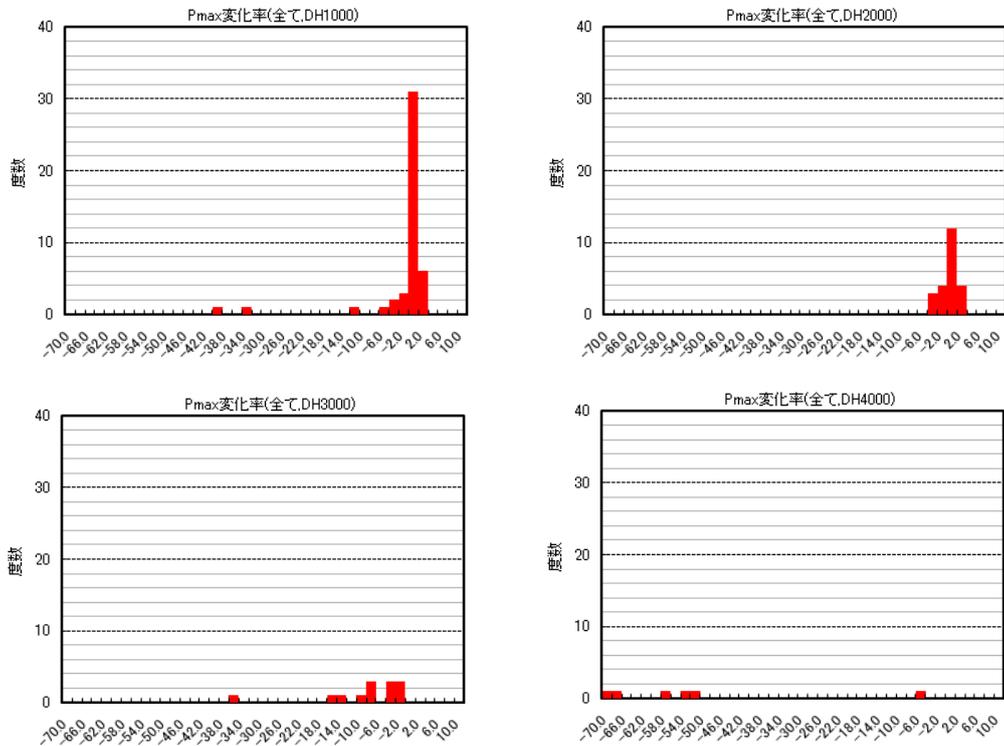


図6.5.15. 結晶系フルサイズモジュールにおけるDH試験後の最大出力の分布

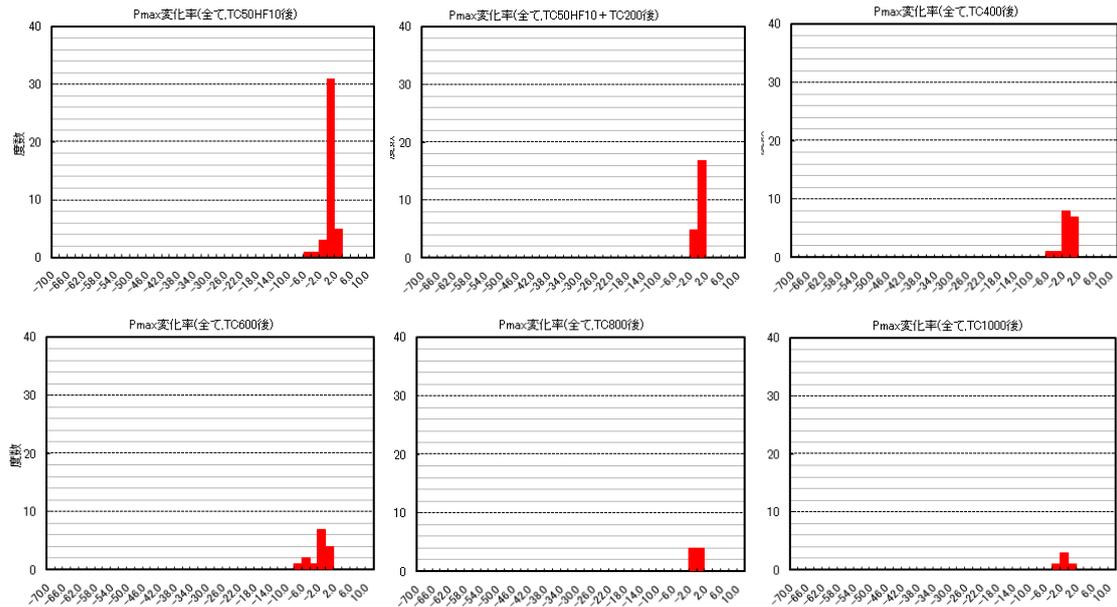


図6.5.16. 結晶系フルサイズモジュールにおけるTC/HP試験後の最大出力の分布

薄膜系フルサイズモジュールにおける、DH試験時間に対する特性変化を図6.5.17に示す。サンプル名の冒頭2文字23はシングルを、24はタンデムを表す。代表例として、シングルセルモジュールの23J573RACCのI-V特性およびEL画像のDH試験時間に対する変化を、それぞれ図6.5.18および図6.5.19に、タンデムセルモジュールの24I331RACCのI-V特性およびEL画像のDH試験時間に対する変化を、それぞれ図6.5.20および図6.5.21に示す。DH試験の初期には出力が向上しているが、これは薄膜シリコン特有のアニール効果によるものである。シングルセルモジュールもタンデムセルモジュールもDH3000時間を過ぎると徐々にFF低下に起因して、最大出力も低下する。また、出力特性に影響するほどではないが、シングルセルモジュールはDH2300時間を過ぎると端子箱部から暗部が広がり始める。一方でタンデムセルモジュールはDH1000からDH2500にかけて端子箱部は明部である。その後、試験を継続していくに従って暗部に転じる。この現象のメカニズムは明らかでない。

この暗部の現象が実際に屋外曝露したモジュールに関して起こりうるかどうかコアテマ1のEL画像をもとに比較してみた。フルサイズモジュールの代表例としてシングルセルモジュールc2-22-1200のEL画像を図6.5.22に、c2-22-1195のEL画像を図6.5.23に、タンデムセルモジュールc2-20-1180のEL画像を図6.5.24に示す。いずれも立命館大学に設置されているものであり、曝露年数は4年である。DH試験結果に類似した暗部はシングルセルモジュールでは15枚中3枚、タンデムセルモジュールでは8枚中0枚であった。数としては非常に少ないのでこのモジュール固有のものかあるいは設置位置によるものか原因は不明である。

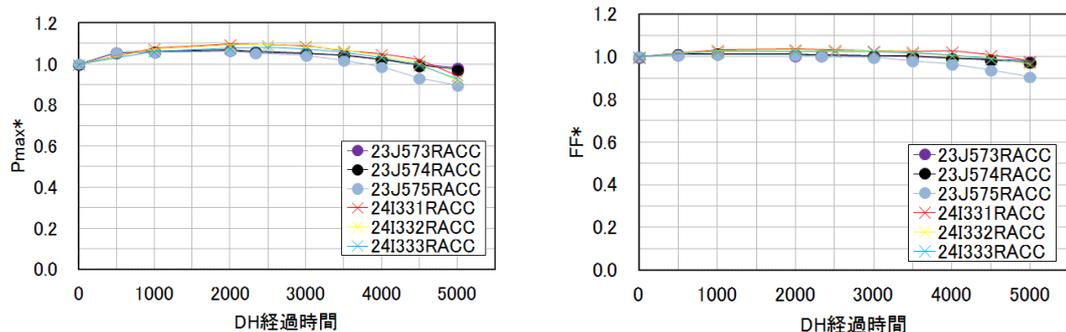


図 6.5.17. 薄膜系フルサイズモジュールにおける DH 試験時間に対する特性変化

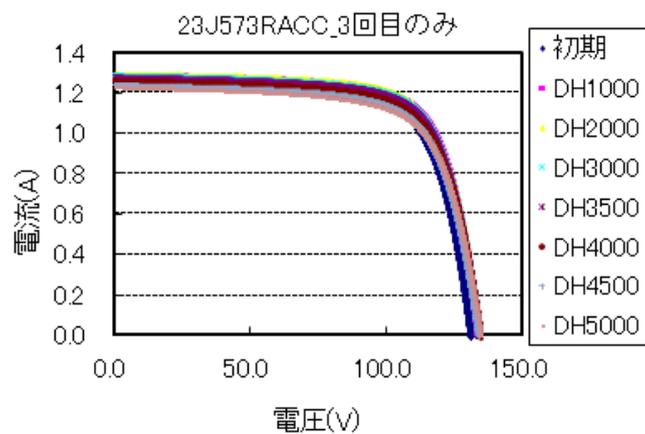


図 6.5.18. 23J573RACC モジュールの I-V 特性の DH 試験時間依存性

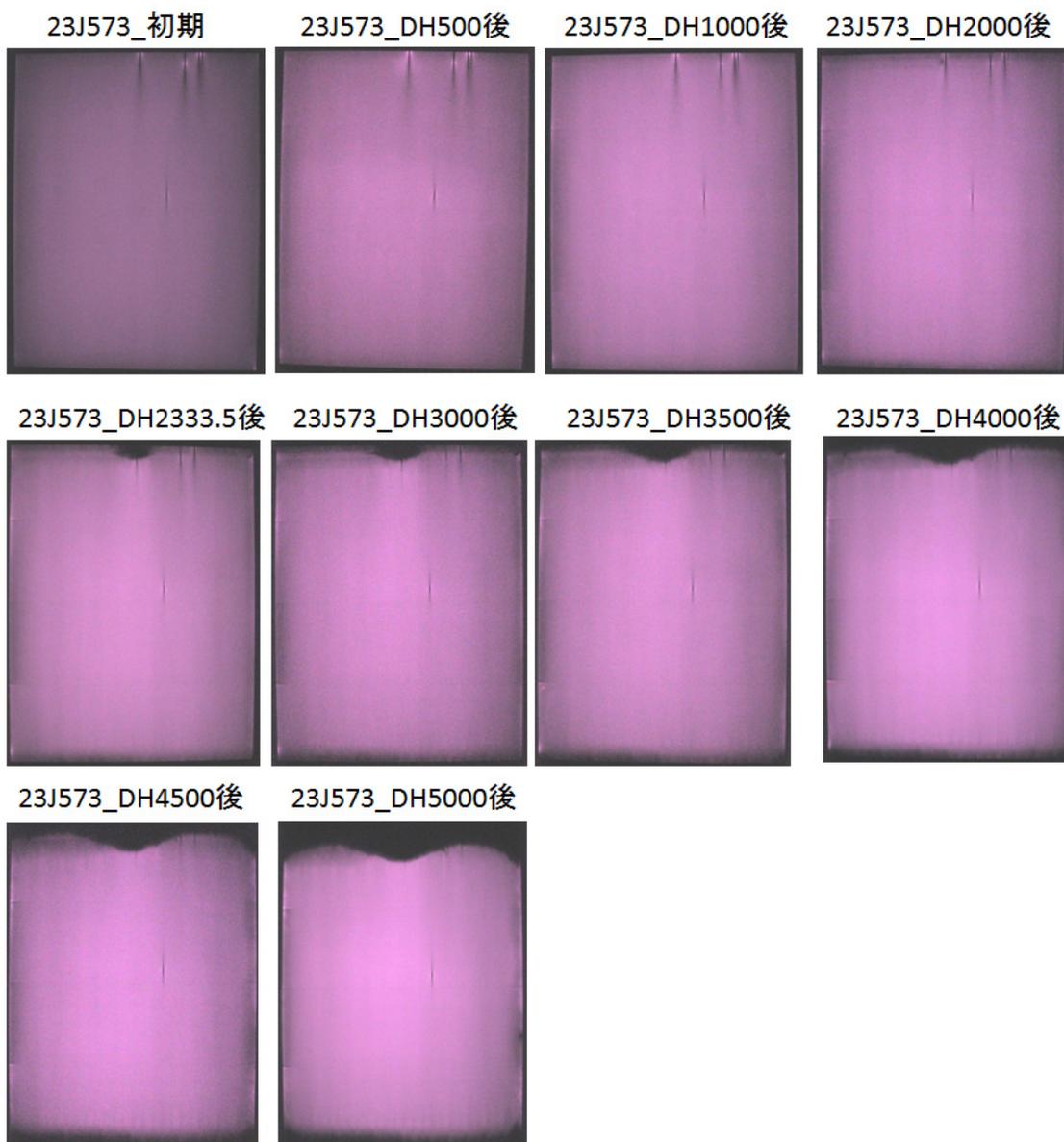


図 6.5.19. 23J573RACC モジュールの EL 画像の DH 試験時間依存性

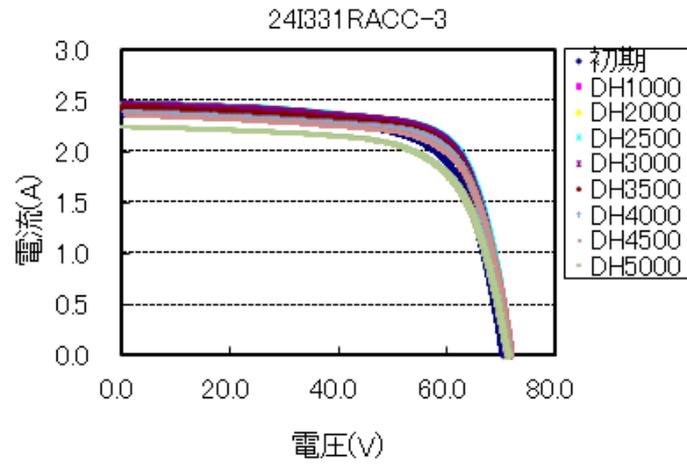


図 6.5.20. 24I331RAAC モジュールの I-V 特性の DH 試験時間依存性

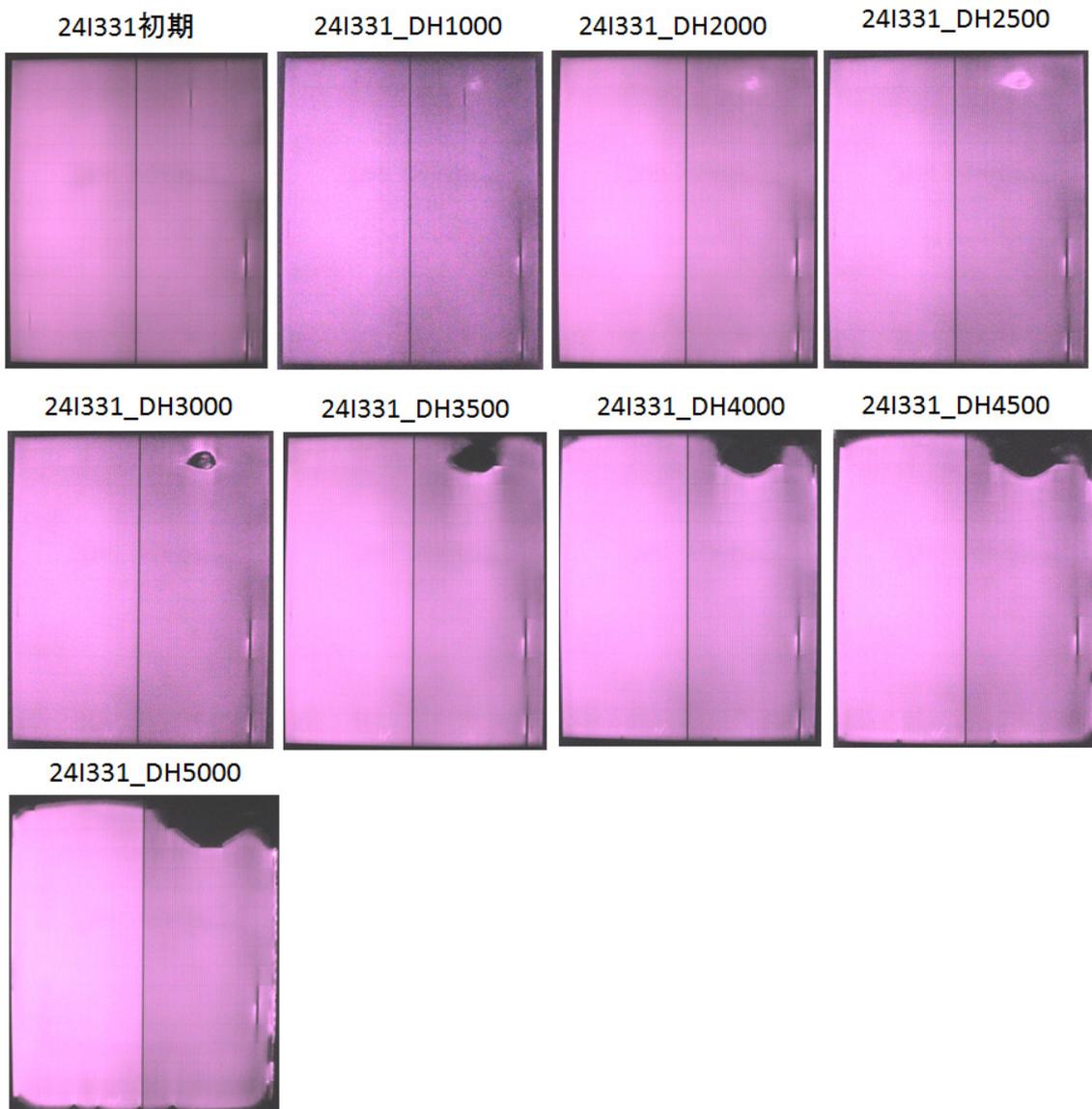


図 6.5.21. 24I331RACC モジュールの EL 画像の DH 試験時間依存性

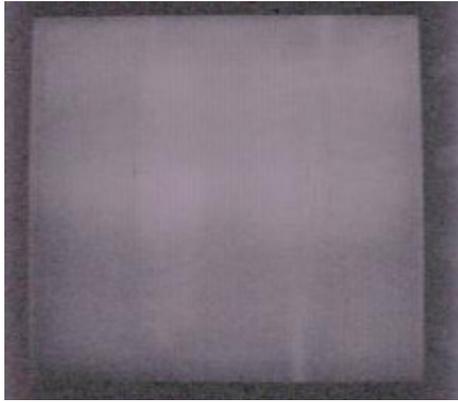


図 6.5.22. c2-22-1200 シングルセル
モジュールの EL 画像

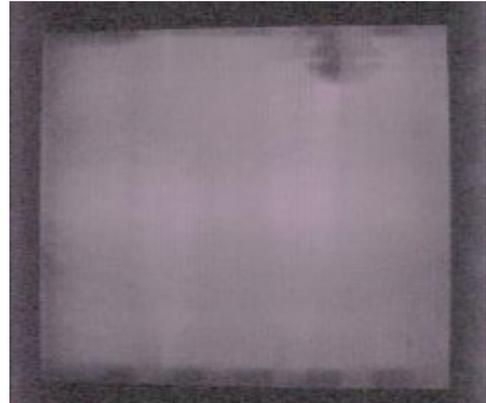


図 6.5.23. c2-22-1195 シングル
セルモジュールの EL 画像



図6.5.24. c2-20-1180タンデムセルモジュールのEL画像

次に、薄膜系フルサイズモジュールにおける、TC/HF 試験サイクル数に対する特性変化を図6.5.25に示す。TC/HF試験の初期には出力が向上しているが、これは薄膜シリコン特有のアニール効果によるものである。また、代表例として、シングルセルモジュール 23L739RAAC のI-V特性およびEL 画像のTC/HF 試験サイクル数に対する変化を、それぞれ図6.5.26および図6.5.27に示し、タンデムセルモジュール24I334RACCのI-V特性およびEL 画像のTC/HF試験サイクル数に対する変化を、それぞれ図6.5.28および図6.5.29に示す。顕著な劣化は観測されていないが、薄膜系では個別のセル列は直列集積構造で接続されており、最終的な端子箱での接続にのみタブ線を使用しているため、TC/HF 試験に対しては本質的に劣化を示しにくいものと考えられる。

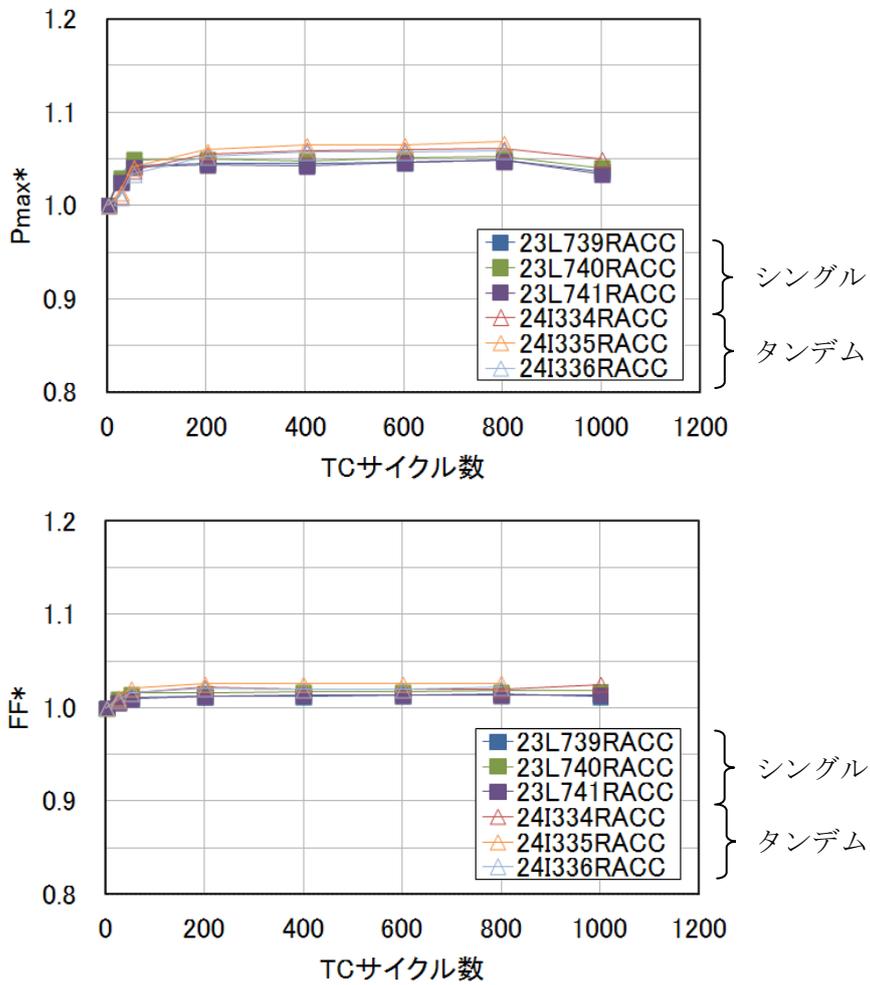


図6.5.25. 薄膜系フルサイズモジュールにおけるTC/HF試験サイクル数に対する特性変化

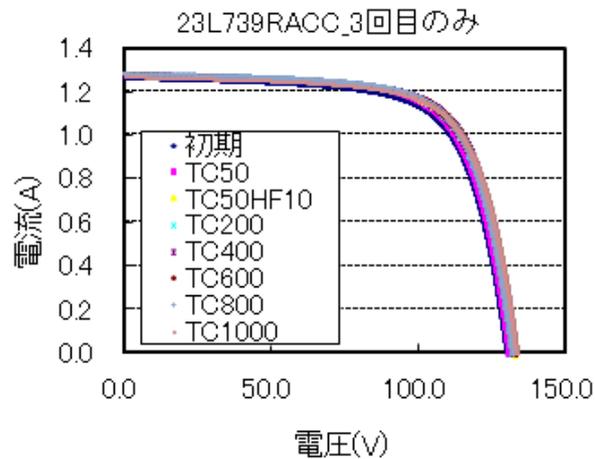


図6.5.26. 23L739RACCモジュールのI-V 特性のTC/HF 試験サイクル数依存性

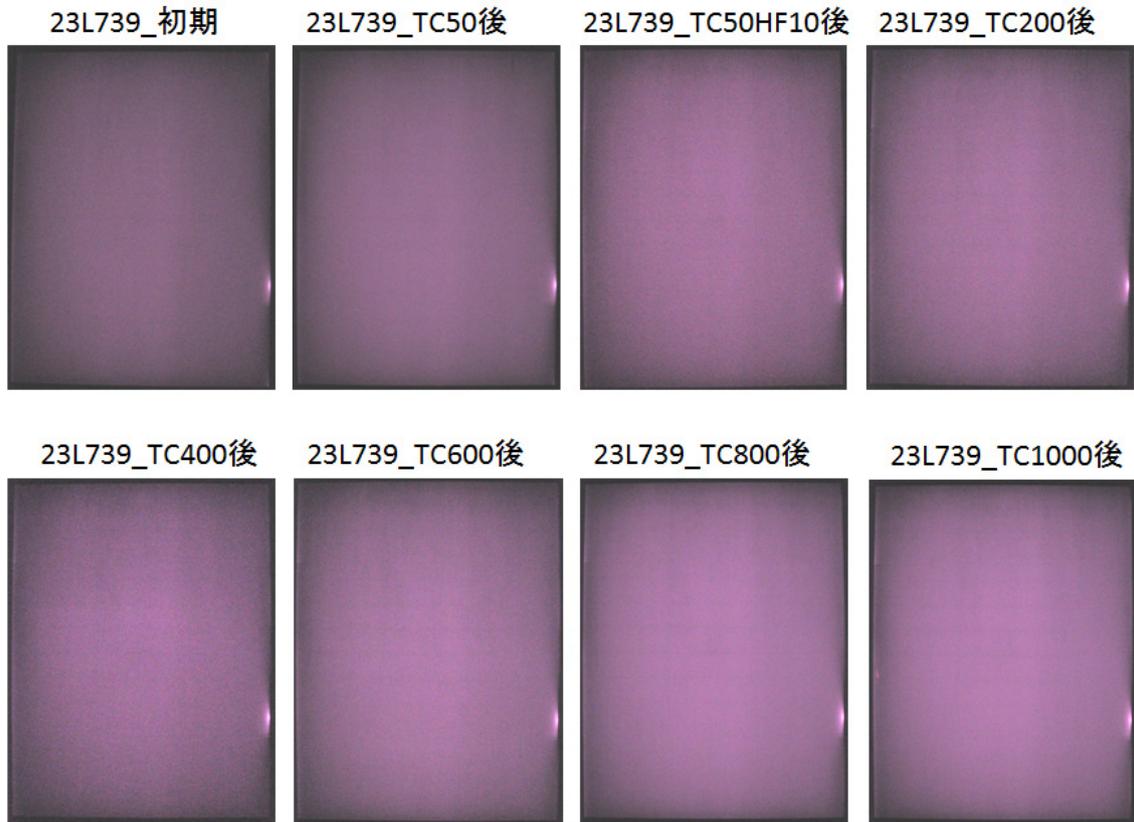


図6.5.27. 23L739RAAC モジュールのEL 画像のTC/HF 試験サイクル数依存性

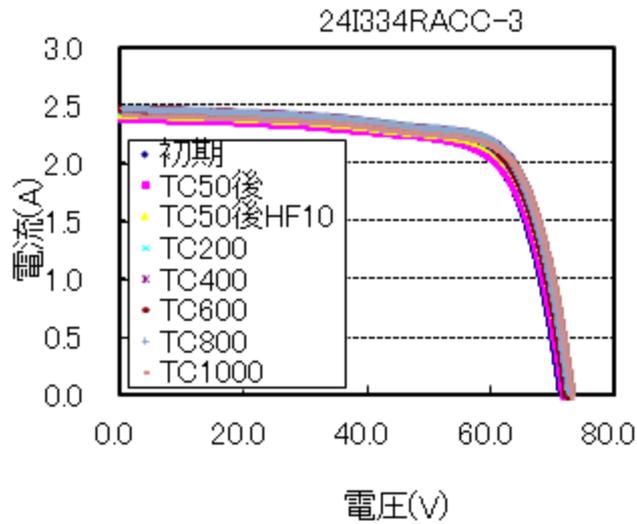


図6.5.28. 24I334RACCモジュールのI-V 特性のTC/HF 試験サイクル数依存性

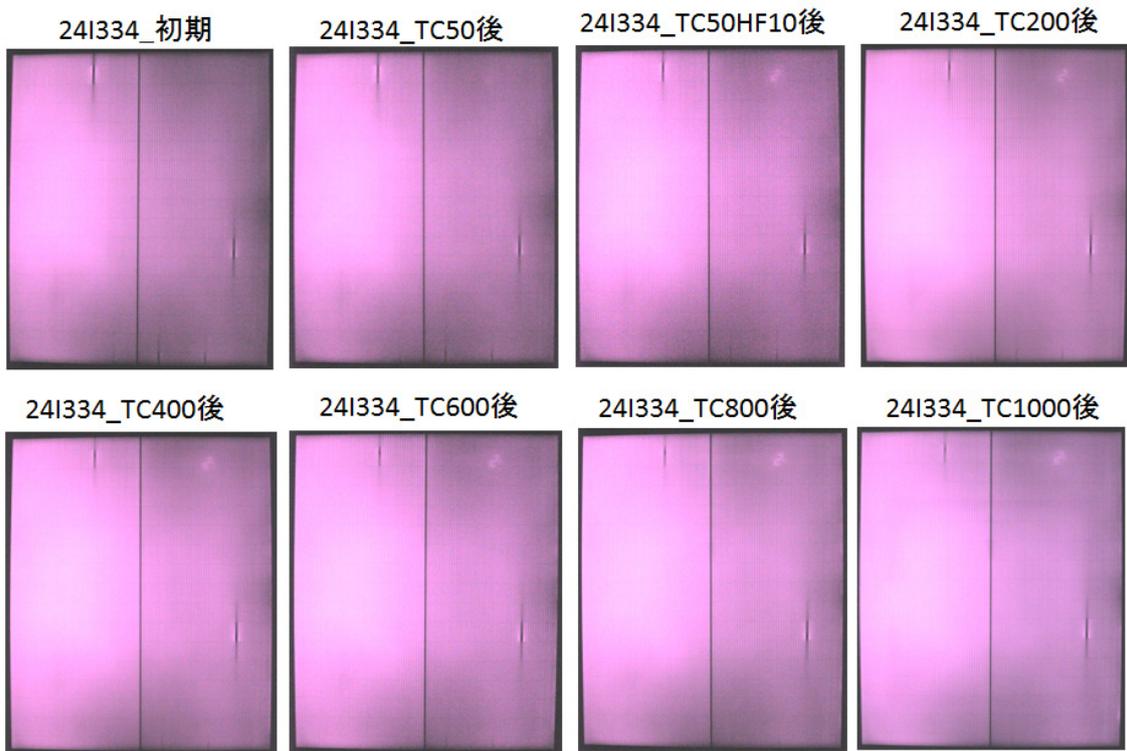


図6.5.29. 24I334RAAC モジュールのEL 画像のTC/HF 試験サイクル数依存性

6.6. フルサイズ標準モジュールの屋外曝露試験結果

フルサイズ標準モジュールでは屋外曝露試験も実施した。結晶系フルサイズモジュールにおける、初期から約14ヵ月後の特性変化を図6.6.1に示す。Y526PAACは未曝露品である。未曝露品Y526PAACのI-V特性の変化を図6.6.2に、曝露品の代表例としてU477PAACのI-V特性の変化を図6.6.3に示す。図6.6.4には、Y526PAACモジュールのEL画像の変化を、図6.6.5にはU477PAACモジュールのEL画像の変化を示す。未曝露品、曝露品ともに1%程度の出力低下がみられた。全体としての傾向から構成部材の初期劣化によるものと思われるが継続した観察が必要である。2013年4月以降は発電量評価も開始した。結果を図6.6.6に示す。2013年4月と11月は工事のため欠測が多く、見かけの発電量が減少している。

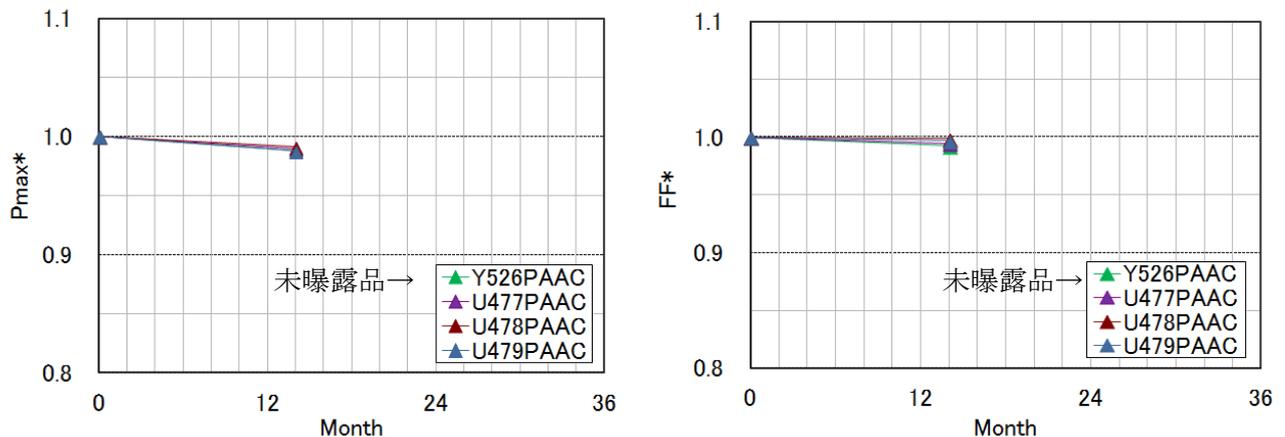


図 6.6.1. 結晶系フルサイズモジュールにおける初期から約 14 ヲ月間の屋外曝露時の特性変化

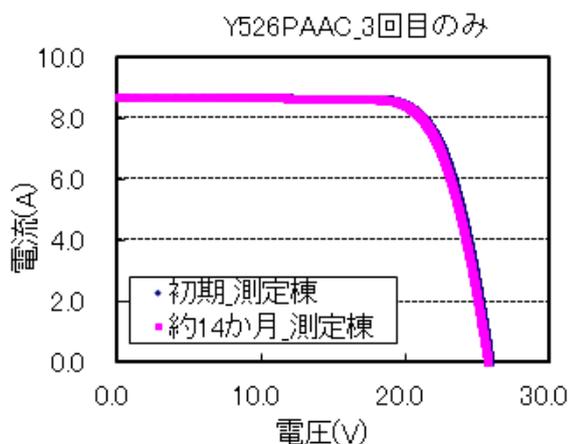


図 6.6.2. Y526PAAC モジュールの I-V 特性変化

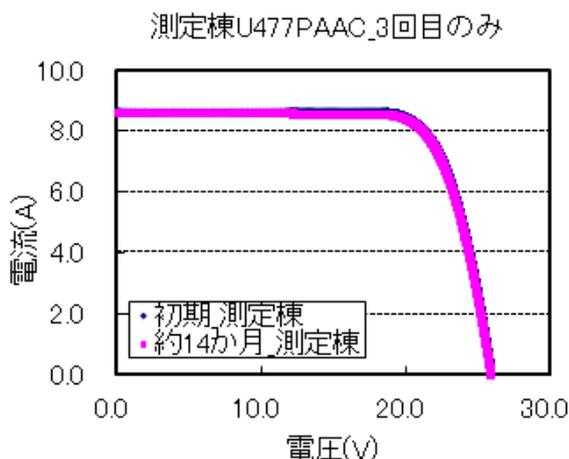


図 6.6.3. U477PAAC モジュールの I-V 特性変化

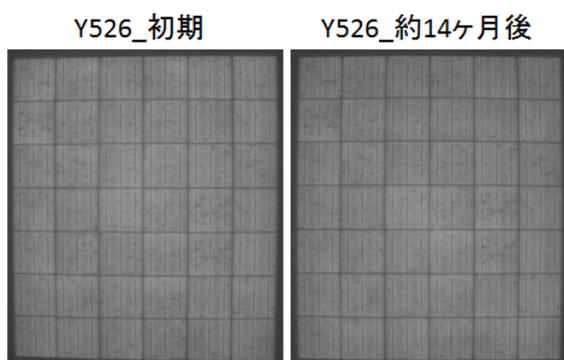


図 6.6.4. Y526PAAC モジュールの EL 画像の変化

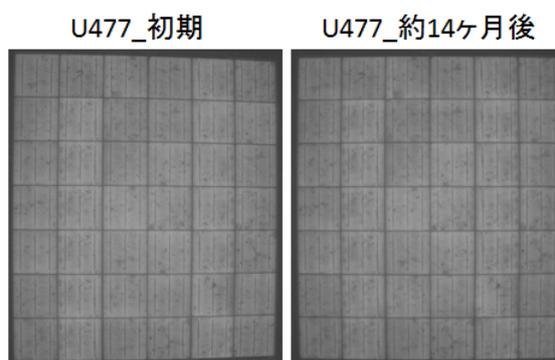


図 6.6.5. U477PAAC モジュールの EL 画像の変化

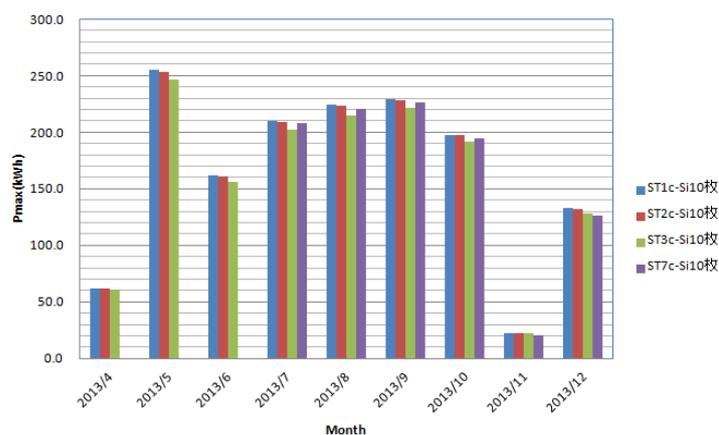


図 6.6.6. 2013 年 4 月以降の結晶系フルサイズモジュールでの屋外発電量評価の結果

次に薄膜系フルサイズモジュールにおける、初期(2月頃)から約14ヵ月後(春)と約19ヵ月後(夏)の特性変化を図6.6.7に示す。X520RACCは未曝露品である。初期劣化が激しいことから部材の劣化が薄膜特有の光劣化であるかを確認するために、U480RACCに対し

では約14ヵ月曝露した後にアニールを施した。アニール条件を図6.6.8に示す。装置の都合上、モジュール温度が80℃から130℃くらいになる条件で実施した。曝露前の出力を1とした場合、0.92程度まで回復した。再度曝露し夏場にあたる約19ヵ月後に再測定を行った。未曝露品X520RACCのI-V特性の変化を図6.6.9に、曝露品の代表例としてU480RACCのI-V特性の変化を図6.6.10に示す。図6.6.11には、X520RACCモジュールのEL画像の変化を、図6.6.12にはU480RACCモジュールのEL画像の変化を示す。図6.6.12から曝露約14ヵ月後のEL画像は初期と比較して暗く、図6.6.10に示すように、それに伴いI-V特性のIscも低下している。しかし、アニールを実施することによりEL画像は明るくなり、それに伴いI-V特性のIscも上昇し回復した。そして再度曝露すると春程ではないがEL画像は暗くなり、I-V特性のIscも低下した。春と夏でのEL画像の明るさの違いは夏場のモジュールが高温になりやすいためアニール効果によるものと思われる。これらの結果から今回の大きな初期の劣化は光劣化によるものと考えられる。2013年4月以降の発電量評価の結果を図6.6.13に示す。2013年4月と11月は、結晶系と同様の理由で見かけの発電量が減少している。

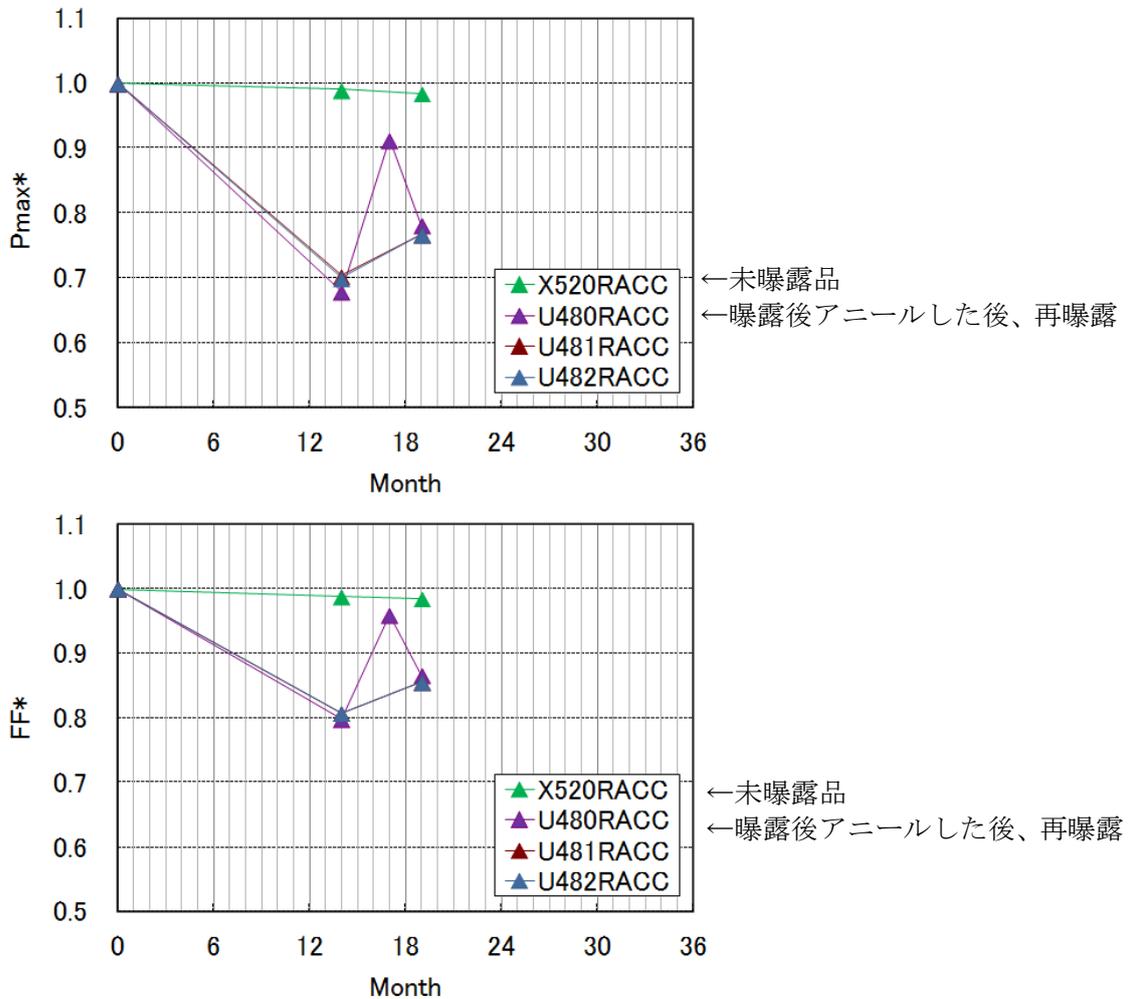


図6.6.7. 薄膜系フルサイズモジュールにおける初期から約14ヵ月後と約19ヵ月後の特性変化

実施番号	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	曝露前	曝露後	モジュール温度 85°C 0.5h	モジュール温度 85°C +20h	モジュール温度 85°C +20h	モジュール 温度85°C +60h	モジュール温度 80°C未満 +1h	モジュール温度 80°C未満 +1h	モジュール温度 約100°C +1h	モジュール温度 約110~120°C +2.5h	モジュール温度約 110~130°C +2.5h

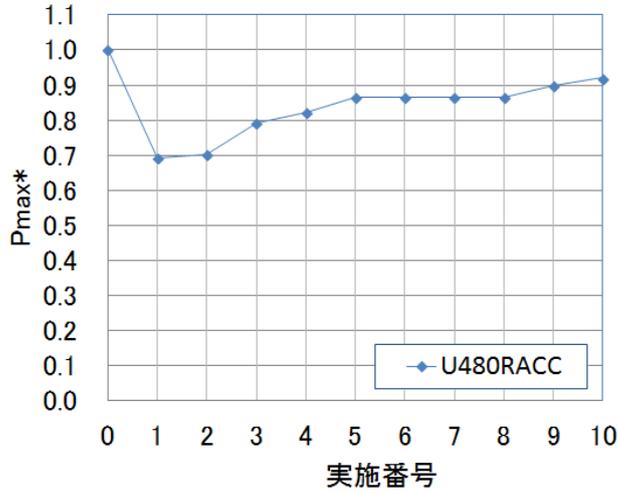


図6.6.8. アニール条件と条件による特性変化

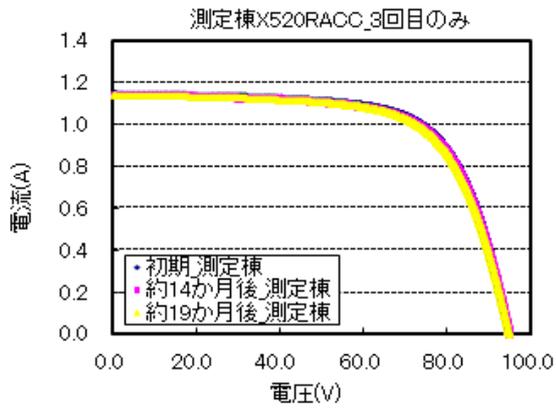


図 6.6.9. X520RACC モジュールの I-V 特性変化

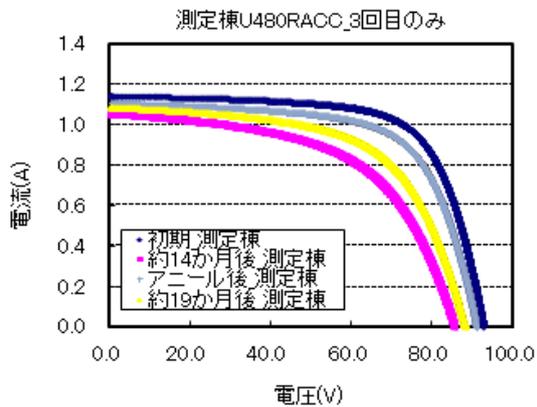


図 6.6.10. U480RACC モジュールの I-V 特性変化

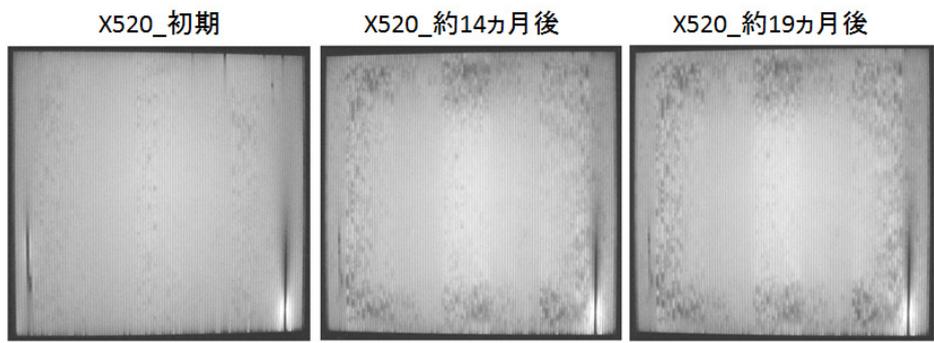


図 6.6.11. X520RACC モジュールの EL 画像の変化

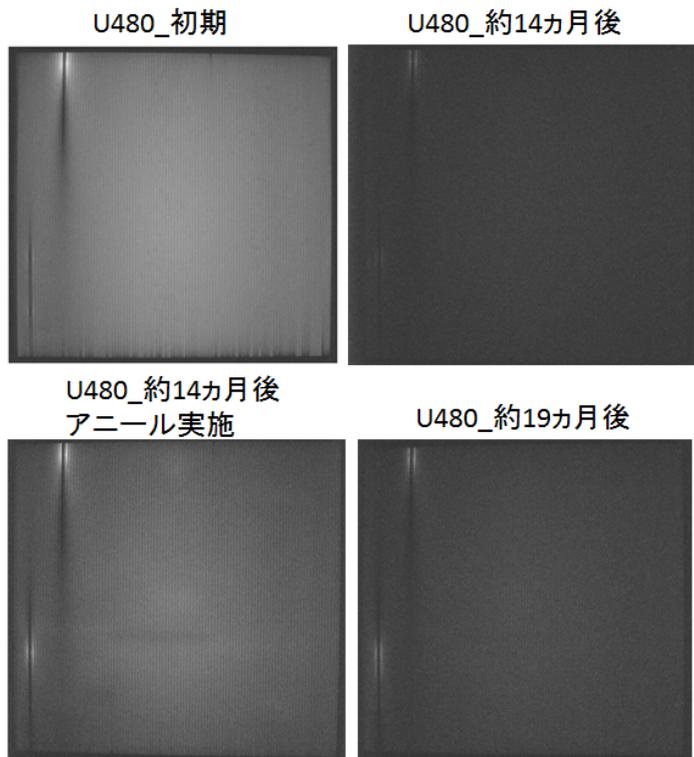


図6.6.12. U480RACCモジュールのEL画像の変化

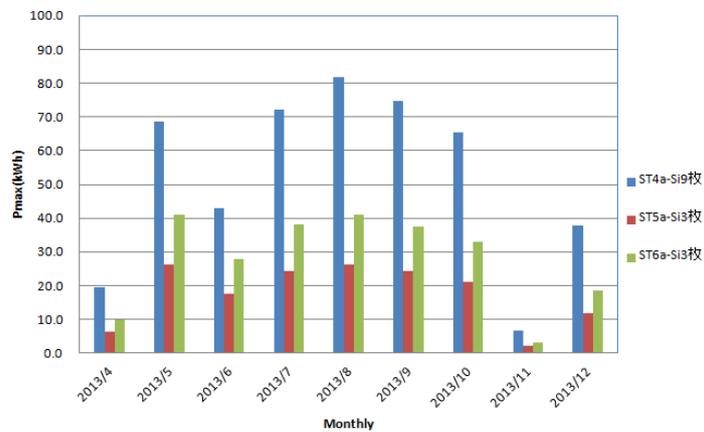


図 6.6.13. 2013 年 4 月以降の薄膜系フルサイズモジュールでの屋外発電量評価の結果

(独立行政法人産業技術総合研究所：内山 直美)

6.7. 協力機関等との連携による試験結果

本節では、産総研がコンソーシアム協力機関等との連携のもとに実施した各種試験結果について述べる。

6.7.1. サエス・ゲッターズの部材評価

6.7.1.1. モジュールの作製と評価

サエス・ゲッターズ社製の水分ゲッター機能を有する高耐久性ハイバリアシール材 (B-Dry®)、また、同機能を有するエッジシール材 (ハイバリア型ホットメルト材) を使用したモジュールを作製し、モジュール内部への水分浸入が、モジュール特性への程度影響するかを調べた。

試験評価用モジュールは、アモルファスシリコンセル基板 (小面積: 186 mm×186 mm、大面積: 950 mm×980 mm) を使用して作製した。部材は全てコンソーシアム標準部材を使用した。出力電極を取り出すために設けているバックシートの開口部、モジュールエッジ部分へは、B-Dry®を使用した構造、また、フレームのシール材についてはハイバリア型ホットメルト材を使用した構造について検討した。バックシート開口部とモジュールエッジの断面構成を図 6.7.1 に示す。

小面積モジュールについては A~E 構成、大面積モジュールについては A, B 構成のモジュールを作製し評価を行った。

作製したモジュールについて、高温高湿試験 (DH: 85°C、85%RH) を実施し、試験後の電流 - 電圧特性、エレクトロルミネセンス (EL) 画像測定を行い、モジュール特性の変化を調べた。

6.7.1.2. 試験結果

各試験サンプルにおける、初期値で規格化した各特性値の DH 試験時間依存性を図 6.7.2 に、初期と DH3000 時間後の EL 画像を図 6.2.3 に示す。

小面積モジュール (A~E-S) での初期値で規格化した各特性値の保持率については、A-S サンプルにおいて、DH2000 時間以降、Pmax の低下がみられているが、その他のサンプルにおいては、DH3000 時間 (B-S のみ 3500 時間) においても Pmax の低下はみられていない。EL 画像の変化については、B~E-S サンプルのバックシート開口部分に該当する箇所にわずかに暗輝度領域が生じているが、A-S サンプルではそれが顕著であり、バックシート開口部に B-Dry®を使用することにより、そこからの水分浸入を抑えられていることがわかる。また、モジュールエッジ部分では、フレームシール材にホットメルトブチルのみを使用している D-S サンプルにおいて暗輝度領域が生じており、その他の B-Dry®、ハイバリア型ホットメルト材を使用した構成では暗輝度領域が生じていないことから、これらの部材の使用により水分浸入を抑えられていることがわかる。

サンプルNo	バックシート開口部構成	モジュールエッジ構成
A		
B		
C		
D		
E		

図 6.7.1 バックシート開口部とモジュールエッジ部の断面構成

大面積モジュール (A, B-L) については、両サンプルとも、DH3000 時間においては、 P_{max} の低下はみられていない。また、EL 画像の変化については、バックシート開口部・モジュールエッジ部分では、同構成の小面積モジュールと同様の結果となり、バックシート開口部に B-Dry® を使用していない A-L 構成で暗輝度領域が顕著に生じており、A-L、B-L 両サンプルともモジュールエッジ部分には、暗輝度領域はまだ生じていない。

これらの結果から、B-Dry®、ハイバリア型ホットメルト材を使用することにより、モジュール内部への水分浸入を効果的に抑制できることがわかったが、小面積 - 大面積モジュールとの比較では出力低下に違いがみられる。これについては、EL 画像上の暗輝度領域のモジュールの発電面積に占める割合に起因しており、小面積モジュールでは、図 6.7.3 での A-S サンプルのように、バックシート開口部付近の EL 画像に暗輝度領域が生じた場合、モジュールの発電面積に占めるその割合が大きいため、出力への影響が大きく、大面積モジュールでは暗輝度領域の占める割合が小さいため、出力への影響は無視できるレベルであると考えられる。つまり、水分に起因するモジュール特性の低下原因は、モジュールの発電面積の違いによって異なり、発電面積が小さければ、バックシート開口部からの水分浸

入+モジュールエッジからの水分浸入双方がモジュール特性の低下に大きく影響し、モジュール面積が実用サイズになるに従い、モジュール特性の低下へは、バックシート開口部からの水分浸入の影響が小さくなり、一方でモジュールエッジからの水分浸入の影響が大きくなる。したがって、特に薄膜系モジュールの信頼性向上や長寿命化においては、モジュールエッジ部からの水分浸入の影響を考慮した対策が必要である。

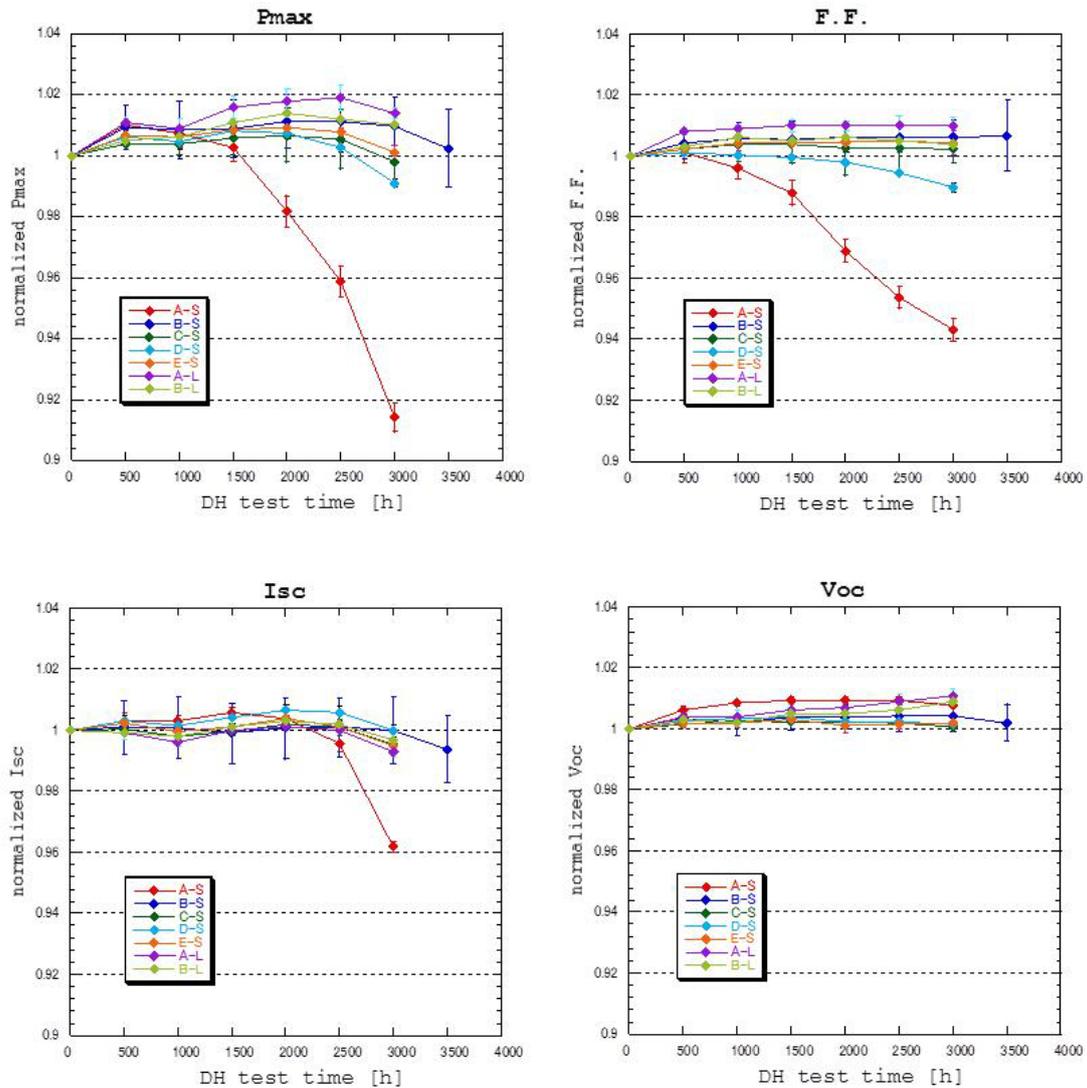


図 6.7.2 初期値で規格化した各特性値の DH 試験時間依存性
(Sは小面積モジュール、Lは大面積モジュールを表す)

サンプルNo.	A-S	B-S	C-S	D-S	E-S
initial					
DH 3000h (B-Sのみ 3500h)					
サンプルNo.	A-L		B-L		
initial					
DH 3000h					

図 6.7.3 初期と DH3000 時間後の EL 画像
(B-S サンプルのみ、DH 3500 時間後の EL 画像)

6.7.2. NEOMAX マテリアルの部材評価

6.7.2.1. モジュールの作製と評価

結晶シリコン太陽電池モジュールにおいて、温度サイクル試験 (TC: $-40^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 85^{\circ}\text{C}$) を実施することにより、セルへのダメージ (具体的にはフィンガー電極の断線、セルとインターコネクタの線膨張係数の違いによるセルのクラックの発生等) が生じ、出力低下の原因となる。特に、セルとインターコネクタの熱膨張係数の違いにより生じるセルへのダメージは、インターコネクタがセルに沿って変形しやすいことで緩和され、機械的特性指標として 0.2% 耐力を低減させる必要性がこれまで以上に増している。そこで、従来品よりも低耐力である、NEOMAX マテリアル社製のインターコネクタを使用したモジュールを作製し、コンソーシアム標準サンプルとの比較を行った (0.2% 耐力: コンソーシアム標準部材 64 MPa、NEOMAX マテリアル社部材 39 MPa)。

試験評価用モジュールとして、セル数が $7 \times 6 = 42$ 直列の大面积モジュールを作製した。インターコネクタを除いては全てコンソーシアム標準部材を使用した。

作製したモジュールについて、温度サイクル試験 (TC: $-40^{\circ}\text{C} \Leftrightarrow 85^{\circ}\text{C}$) を実施し、試験後

の電流 - 電圧特性、EL 画像測定を行い、モジュール特性の変化を調べた。

6.7.2.2. 試験結果

各試験サンプルにおける、初期値で規格化した各特性値の TC サイクル数依存性を図 6.7.4 に示す。また、代表例として、図 6.7.5 に 11QC04-01 (NEOMAX マテリアル社製インターコネクタ) と 11QC04-TC01 (コンソーシアム標準インターコネクタ) の初期と TC800 サイクル後の EL 画像を示す。

NEOMAX マテリアル社製インターコネクタ、コンソーシアム標準インターコネクタの両サンプルについて、TC800 経過後の Pmax は約 2%程度低下しており、明確な差はみられなかった。また、EL 画像についても、初期と TC 800 サイクル試験後ではクラック等の発生はみられず、IEC 規格で定められた 200 サイクルを大きく上回るサイクル数を実施しても、規定のモジュール出力を保持することができた。

これらの結果より、TC 800 サイクルを終えた現段階では、両サンプル間でのモジュールの各特性値、EL 画像での差はみられてはいないが、今後、より薄肉化するシリコンセルを使用した太陽電池モジュール作製時へ対応していく場合や太陽電池の高出力化対応として導体抵抗低減のために厚板化する場合には、より低耐力であること等、インターコネクタに要求される仕様も刻々と変化し続け、各種太陽電池モジュールに使用されるセルに適したインターコネクタが必要になってくるものと思われる。

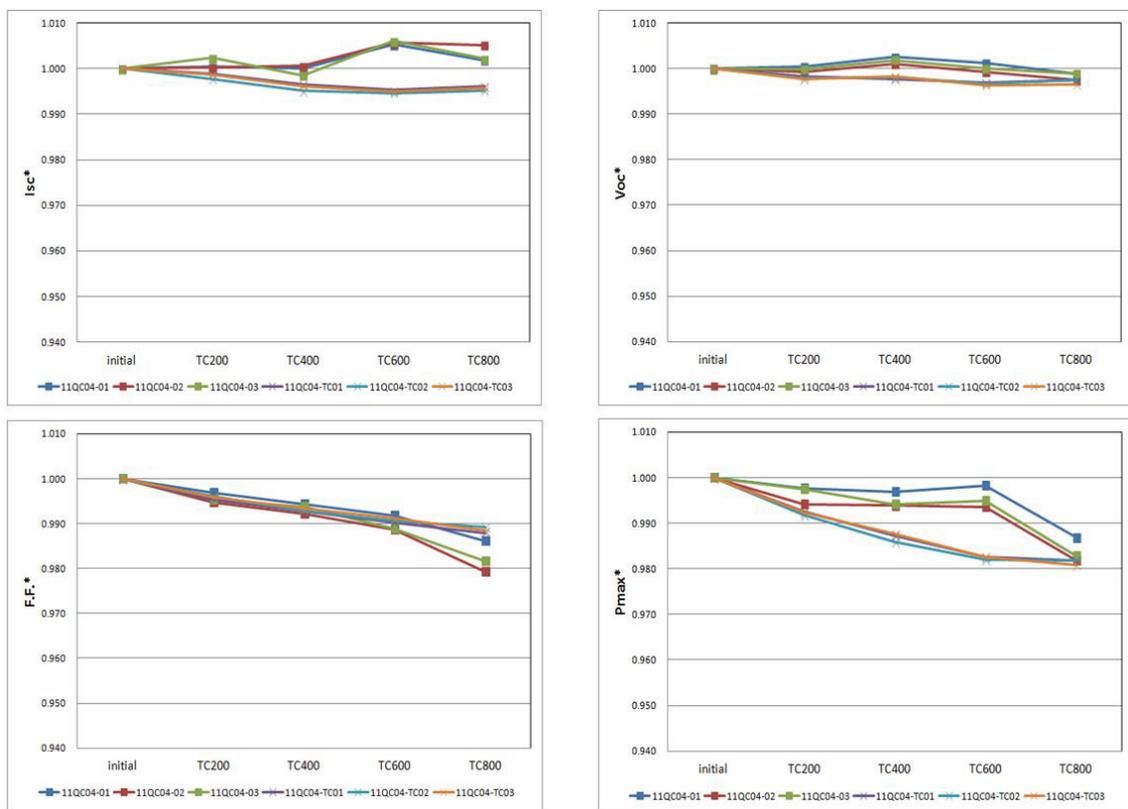


図 6.7.4. 初期値で規格化した各特性値の TC サイクル数依存性 (11QC04-01～03 は NEOMAX マテリアル社製インターコネクタ、11QC04-TC01～TC03 はコンソーシアム標準インターコネクタを使用)

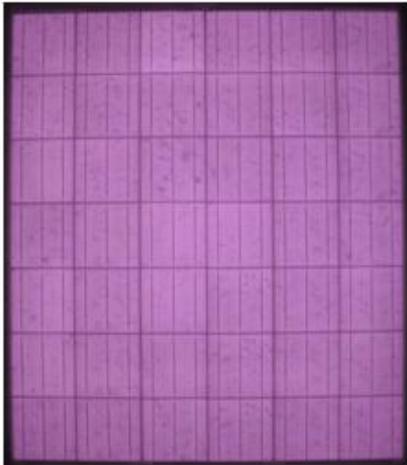
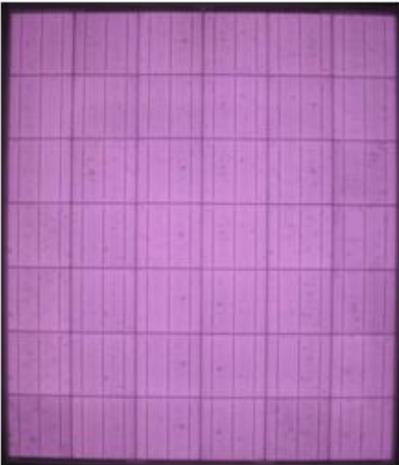
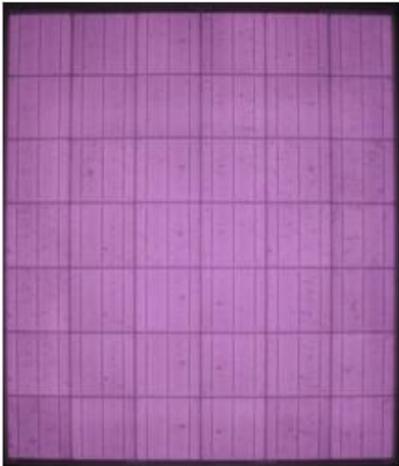
サンプルNo.	11QC04 - 01	11QC04 - TC01
initial		
TC 800		

図 6.7.5. 初期と TC800 サイクル後の EL 画像

6.7.3. 菊水電子工業との PID 試験結果

6.7.3.1. モジュールの作製と評価

近年、PID (Potential Induced Degradation) と呼ばれる、太陽光発電所メガソーラーにおける太陽電池モジュールの大幅な出力低下現象が報告され問題となっている。PID による劣化現象の詳細なメカニズムはまだ解明されていないが、一般的には、高電圧下において受光面カバーガラス基板からナトリウムイオンがモジュール内部の封止材へ拡散し、シリコンセル表面、あるいは内部に侵入することが原因と考えられている。PID の詳細なメカニズムを解明し、PID 対策を講じることが急務となっているが、現在、PID 試験については様々な試験条件が提案されている。いずれも屋外試験との対比検討が不十分な点に課題がある。さらに、欧州ではシステム電圧が 1000 V と高く、さらなる高電圧化の動きもある。本項では、早急な PID 対策モジュールの開発へ繋げるため、PID 試験時の印加電圧と出力低下との関係を検証した結果について述べる。今回の検証にあたり、菊水電子工業が開発した±2000 V 出力が可能な PID 用絶縁試験機を使用した。

試験評価用モジュールとして、セル数が 1 枚の単セルモジュールを作製した。使用した部材は、全てコンソーシアム標準部材である。作製したモジュールの受光面側ガラス上に導電性ゴムシートを設置し、さらにその上にアルミ板を設置したのち、絶縁試験機と接続後（図 6.7.6）、モジュール温度が 85℃の状態 で電圧を印加し PID 試験を実施した。所定の試験時間経過後、電流 - 電圧特性、EL 画像測定を実施し、モジュール特性の変化を調べた。

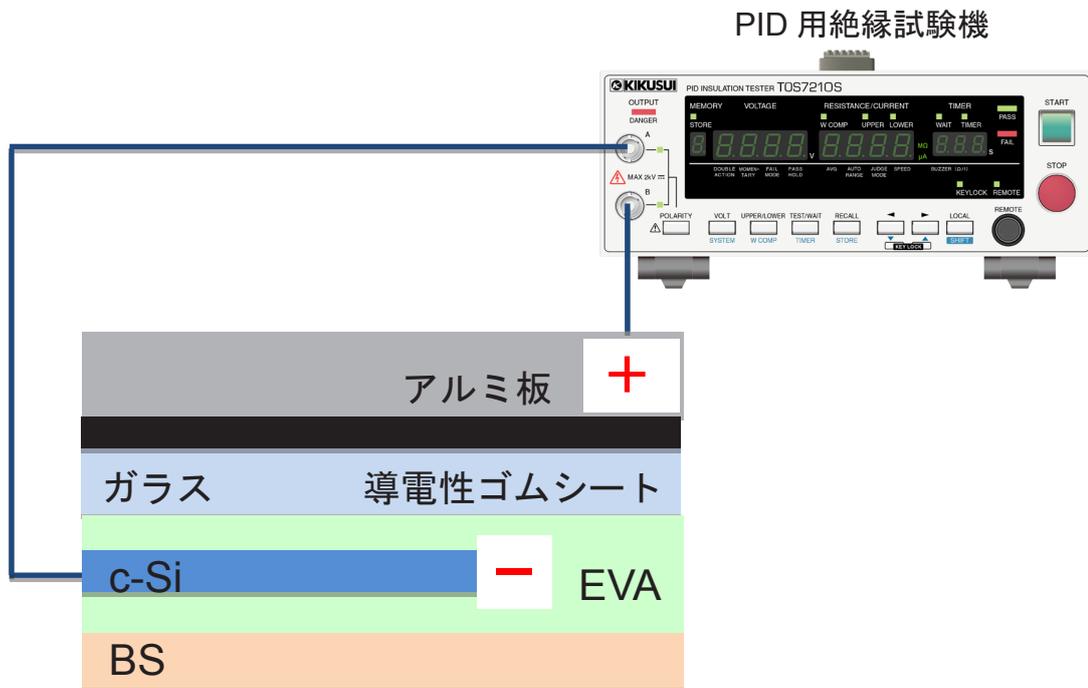


図 6.7.6. PID 試験の構成

6.7.3.2. 試験結果

初期値で規格化したモジュールの各特性値の PID 試験時間依存性を図 6.7.7 に、PID 試験前後の EL 画像を図 6.7.8 に示す。試験時間が経過するとともに、印加電圧が大きい程、Pmax 保持率が低下し、また、EL の発光強度は早期に弱くなっていることがわかる。2000 V 印加条件では、150 分の試験が終了した時点において完全に発光がみられなくなった。このことから、PID 試験時の印加電圧を大きくすることにより、PID 試験時間の短縮の可能性も示された。

1000 V 印加試験を 24 時間実施したサンプルについて、TOF-SIMS により、シリコンセルの表面分析を行った。試験前後を比較すると、Na に関連するイオンの増加がみられており（図 6.7.9）、これが出力低下の一因であると考えられる。今後の検討課題ではあるが、他の印加電圧条件下での早期のモジュール出力低下は、印加電圧が大きい程、シリコンセル表面への Na 関連イオンの侵入量及び侵入速度が増大することによって引き起こされるのではないかと考えている。

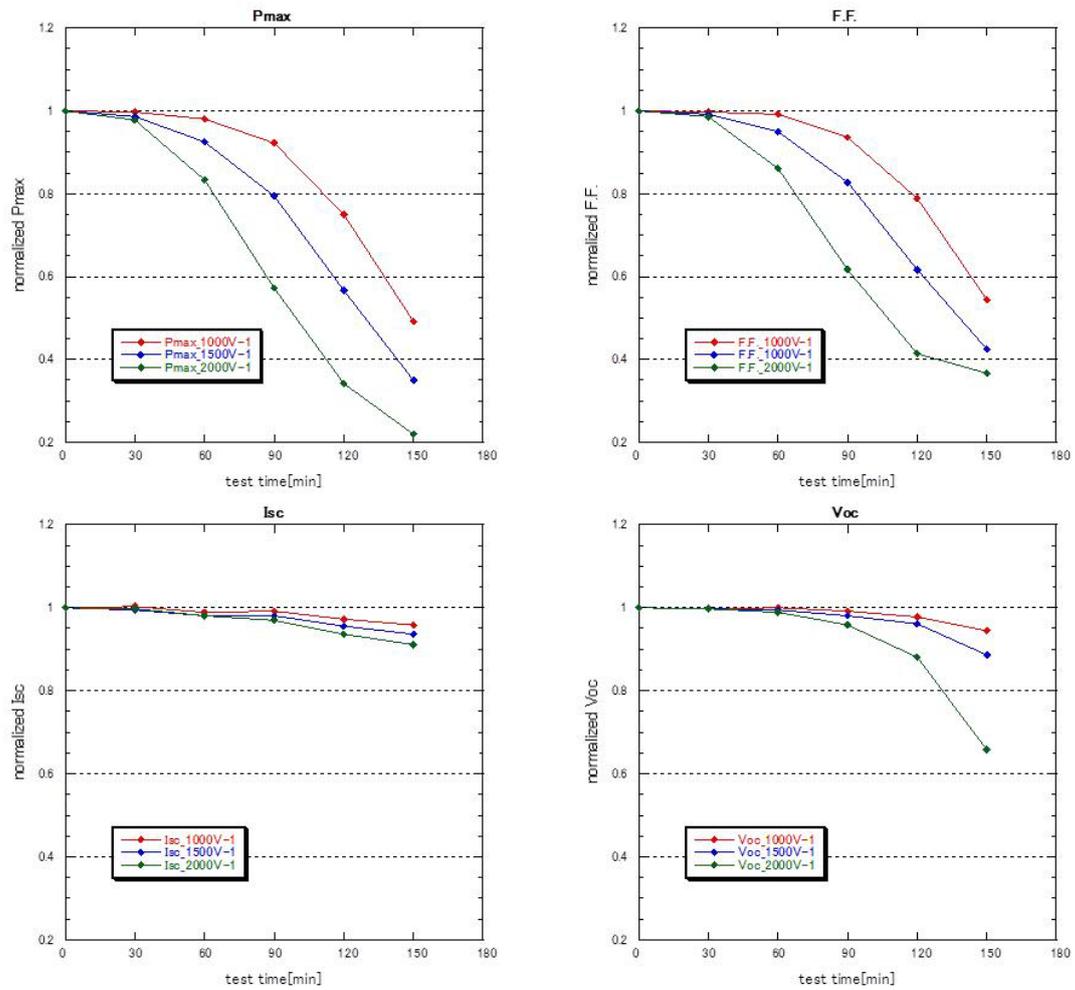


図 6.7.7. 初期値で規格化したモジュールの各特性値の PID 試験時間依存性

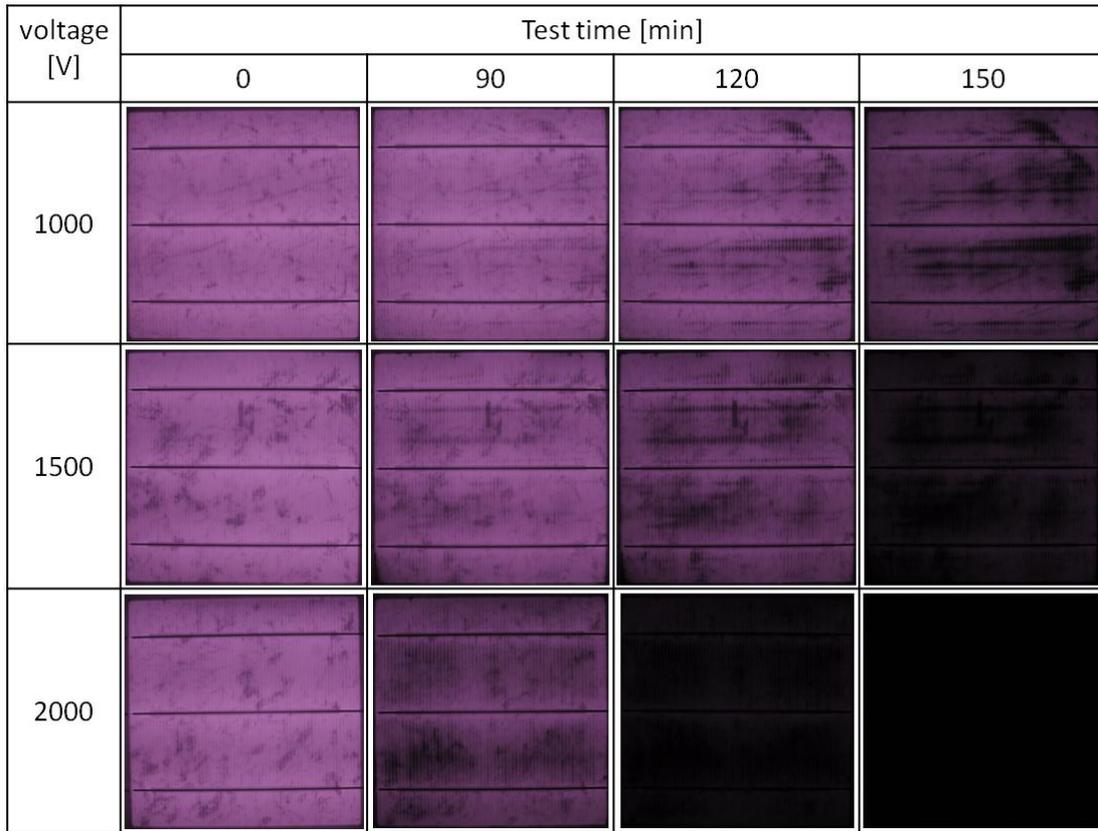


図 6.7.8. PID 試験前後の EL 画像

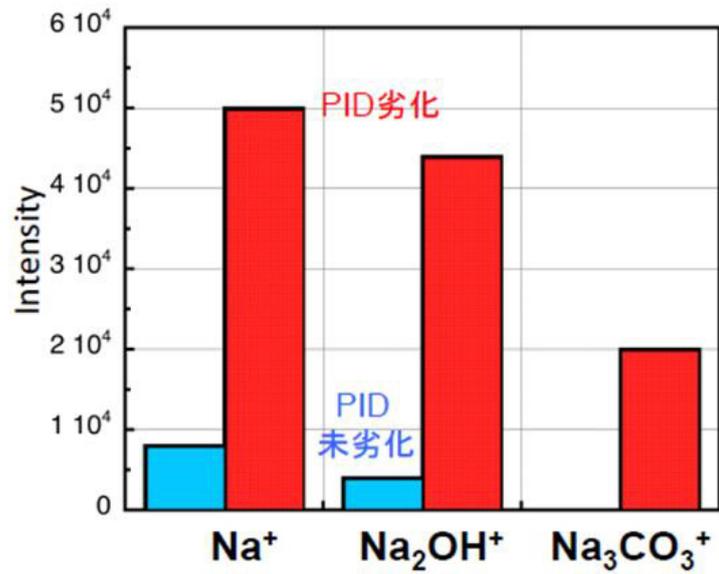


図 6.7.9. TOF-SIMS による c-Si セル表面分析
(分析サンプル：1000 V PID 試験 24 時間実施サンプル)

6.7.4. ウシオ電機開発のランプによる UV 照射試験結果

6.7.4.1. モジュールの作製と評価

太陽電池モジュールの寿命を評価する上で、高温高湿 (DH) 試験、温度サイクル (TC) 試験等のほかに、UV 照射による耐光性試験がある。UV 照射試験においては、光源として Xe ランプが使用されることが多いが、ランプ寿命が短く、ランプ交換作業等の手間・コストが増大してしまう。ランプの長寿命化は、それらの短所を補うことができる。そこで、ウシオ電機が新規に開発した長寿命 UV ランプを使用して UV 照射試験を行い、Xe ランプを使用した試験結果との比較を行った。

試験評価用モジュールとして、セル数が 1 枚の単セルモジュールを作製した。使用した部材は、全てコンソーシアム標準部材である。

作製したモジュールについて、ウシオ電機が開発した 10,000 時間のランプ寿命がある UV ランプを使用して UV 照射試験 (3UV) を実施した。試験時のモジュール温度は、11QCO2-02、11QCO2-04 サンプルが 50℃、11QCO2-07、11QCO2-08 サンプルが 90℃となる条件の下、行った。

6.7.4.2 試験結果

初期値で規格化した各モジュールの特性値の UV 照射時間依存性を図 6.7.10 に示す。また、図 6.7.11 に、代表例として 11QCO2-07 サンプルの照射試験時間に対するバックシート部分の分光測色計による測定データを示す (なお、 a^*b^* 平面評価については、初期値測定は未実施のため、未試験サンプル 11QCO2-01 の測定データを使用している)。

照射時間の増加に伴い P_{max} の低下がみられた。照射試験前後の分光測色計による測定データでの a^*b^* 平面評価により、 b^* 値が増加しており黄色方向への変色がみられることから、これは、EVA やバックシートの黄変に伴う I_{sc} の低下に起因していると考えられる。また、試験時のモジュール温度が大きい程 P_{max} や I_{sc} の低下が大きいことから、UV だけでなく、温度も EVA やバックシートの黄変に影響していると考えられる。

産総研で実施した Xe 耐光性試験の結果を 6.3 節の図 6.3.25 に示した。試験条件は異なるが (Black Panel Temperature が 85℃で、モジュール温度としてはそれ以上になることが予想される)、照射 1400 時間後の P_{max} の低下は約 2.5%程となっており、今回の新規 UV ランプを用いた試験よりも P_{max} の低下が大きくなっている。これについては今後の詳細な検討が必要であるが、試験時のモジュール温度等を考慮すると、各特性値の挙動としては同程度になるのではないかと期待できる。

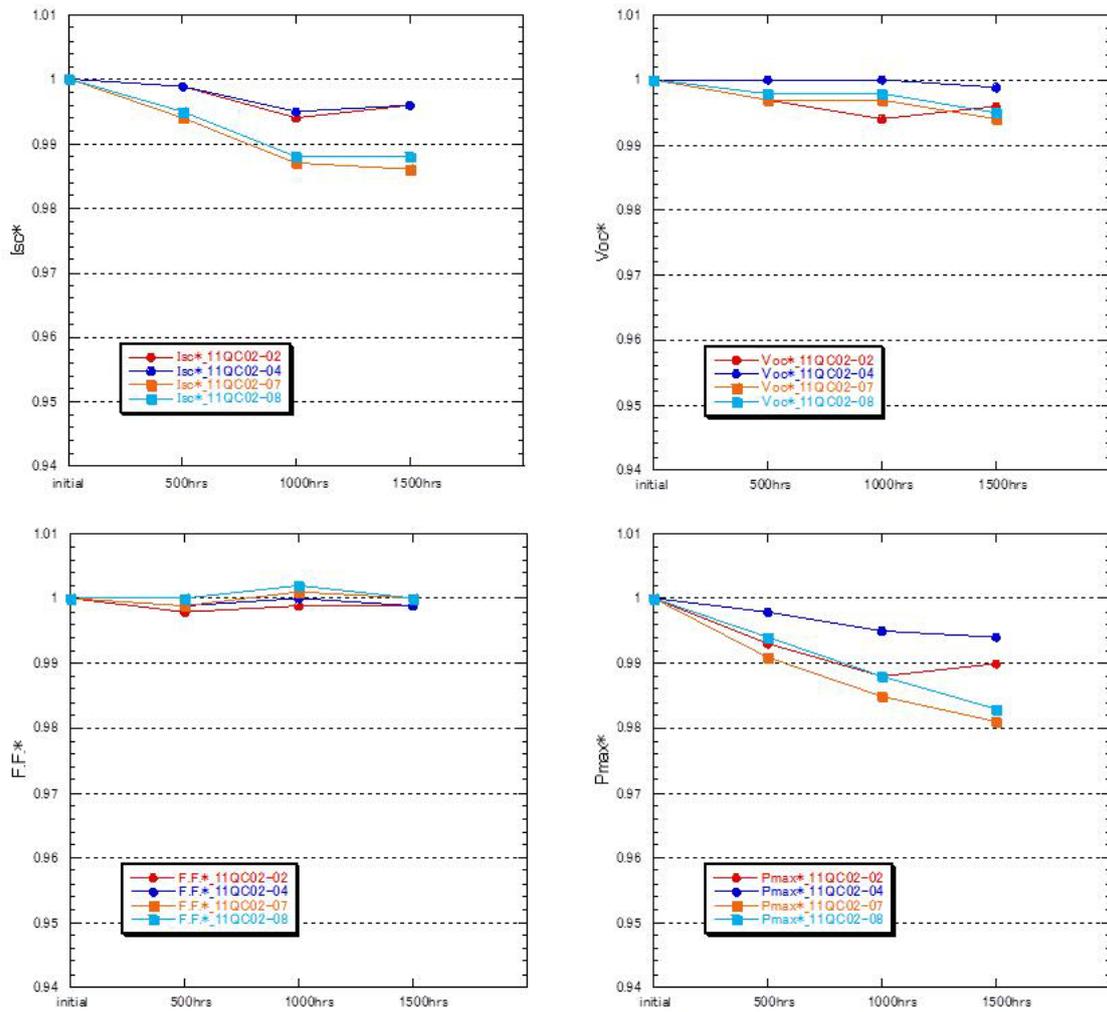


図 6.7.10. UV 照射時間に対する各特性値の保持率
 (試験時のモジュール温度は、11QC02-02、11QC02-04 が 50℃、11QC02-07、11QC02-08 が 90℃となっている。)

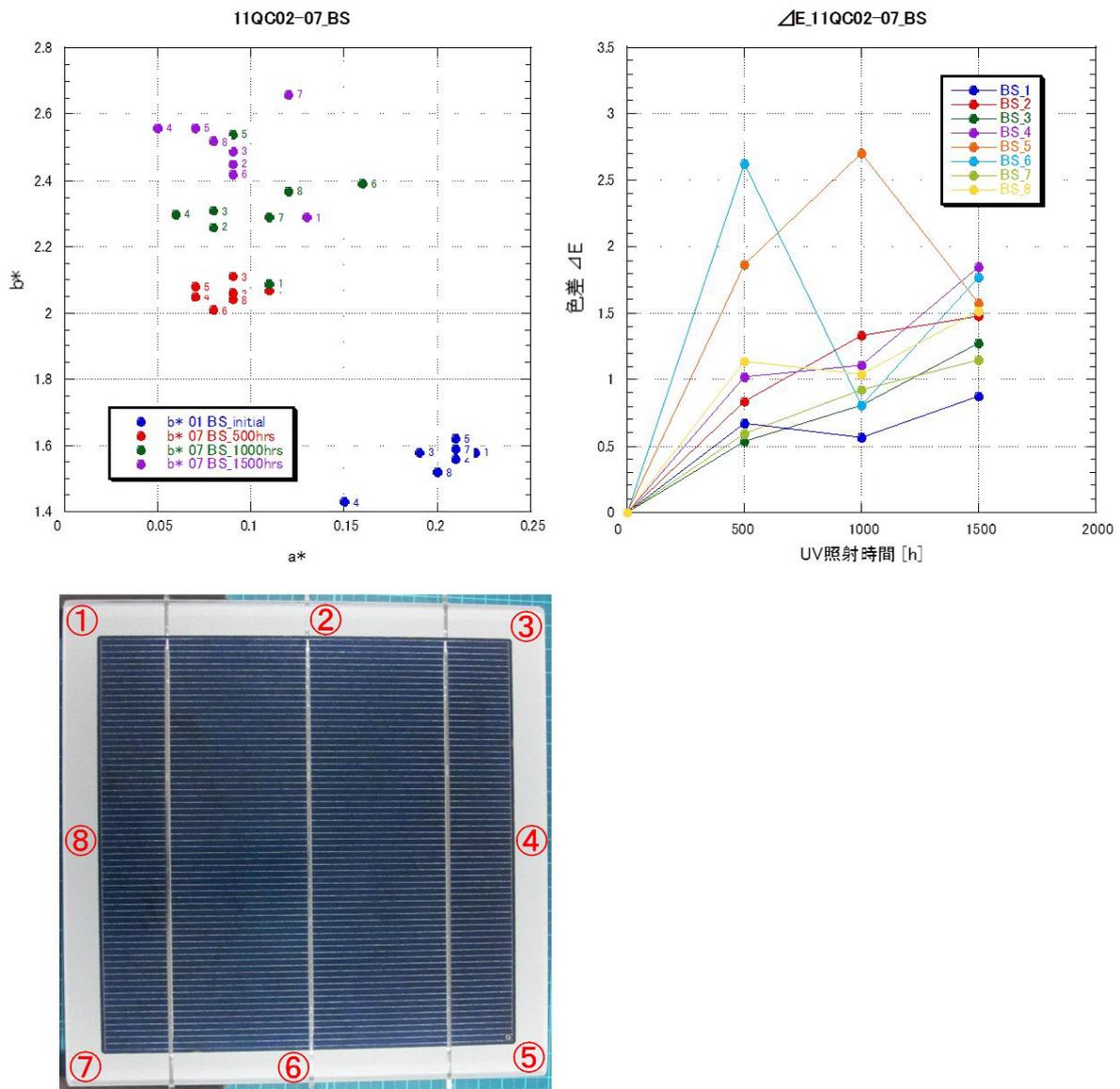


図 6.7.11. 照射時間に対する分光測色データ (a^*b^* 平面評価 (左上) と色差 ΔE (右上))。測定サンプルは、11QC02-07。左図中の番号は下図中の測定箇所を示す。

(独立行政法人産業技術総合研究所：井上 昌尚)