

第7章

モジュールの作製と信頼性試験

第7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。

7.1 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18cm角、40cm角、フルサイズの3種類である。モジュールの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に示したとおりである。コンソーシアム参加企業は、各社から持ち込んだ部材と標準部材を組み合わせることでモジュールを作製し、初期特性を評価後に信頼性試験を施し、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7.1に示す。

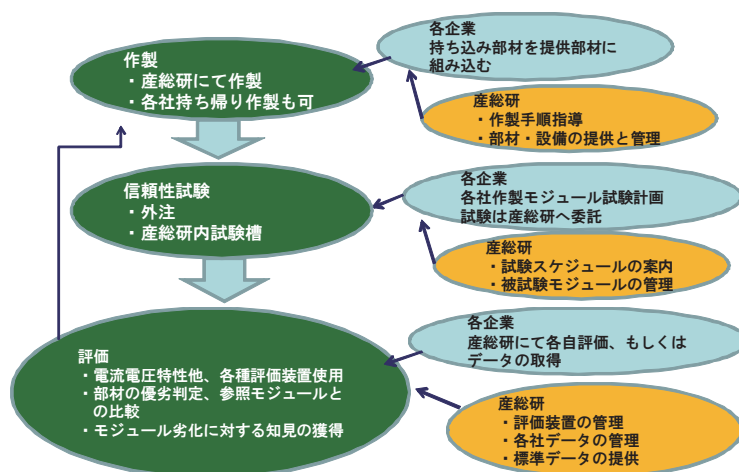


図 7.1 コンソーシアムでのモジュール作製、試験、評価の流れ

平成22年4月から平成23年4月までのモジュール作製実績を図7.2に示す。モジュール作製台数は、結晶4セルと薄膜40cm角の合計が1070台、結晶単セルと薄膜18cm角の合計が1313台、結晶フルサイズと薄膜フルサイズの合計が171台であり、この期間だけで2500台以上のモジュールを作製したことになる。

安定した再現性をもって試作を行えることは研究結果の信憑性を高める上で、極めて重要である。産総研は所内に保有する装置の維持管理に努めてきたが、例えばストリングのインターコネクタ接着強度の管理例を図7.3に示す。インターコネクタの接着強度は引っ張り試験機により評価した。作製日毎にストリングをロットで管理し、ロット毎に参照モジュールを作製、評価し、そのデータを参加企業に提供した。

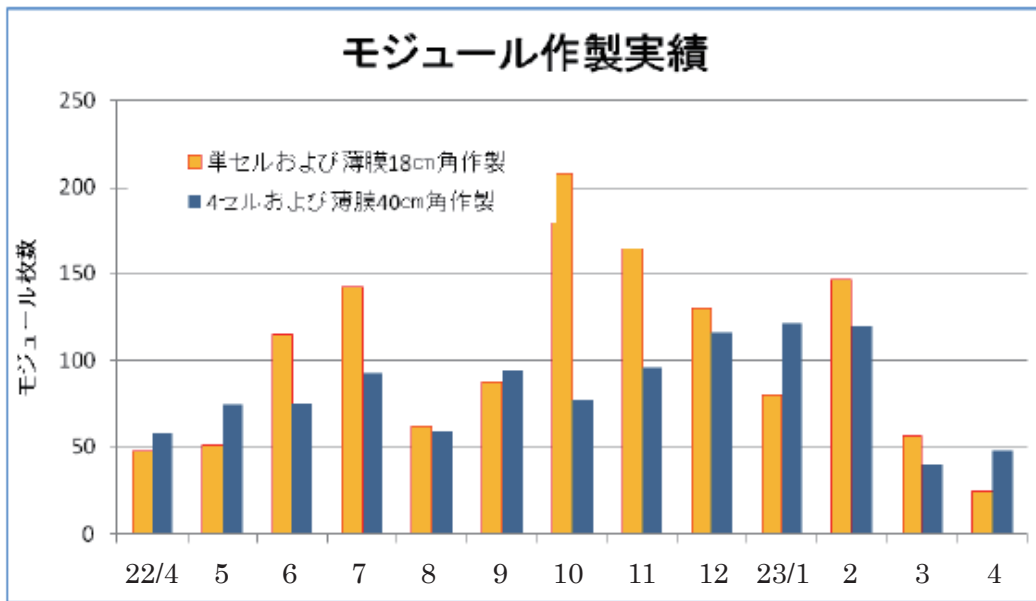


図 7.2 平成 22 年 4 月から平成 23 年 4 月までのモジュール作製実績

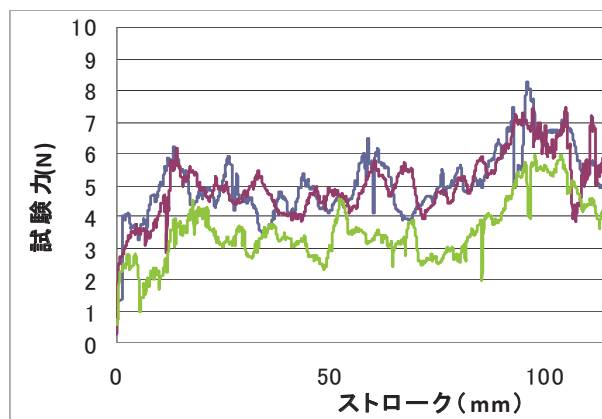


図 7.3 インターコネクタ接着強度の実測例

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やコネクタ接続等の管理のため、測定日毎にコンソーシアム用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。各社のモジュール特性のデータを産総研が管理することで、情報漏洩等を回避するとともに、各社と産総研で情報を共有し、必要に応じて他社へも情報を還元した。図 7.4 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のことがわかる。また、図 7.5 には結晶系フルサイズモジュール 107 台の測定結果を示す。曲線因子の値にばらつきがなく、安定な試作が可能な

ことがわかる。

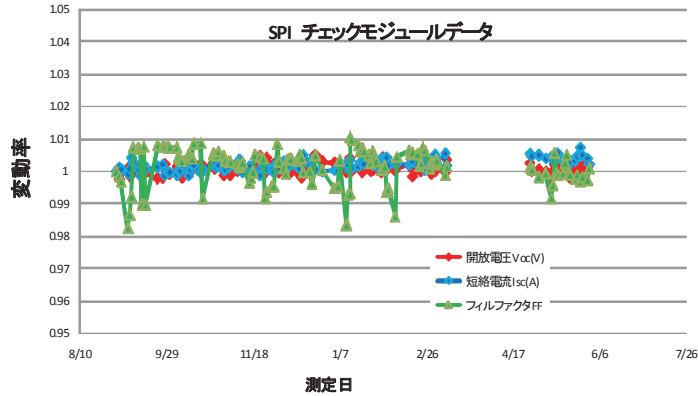


図 7.4 ソーラーシミュレータにより評価したチェックモジュールの特性変動

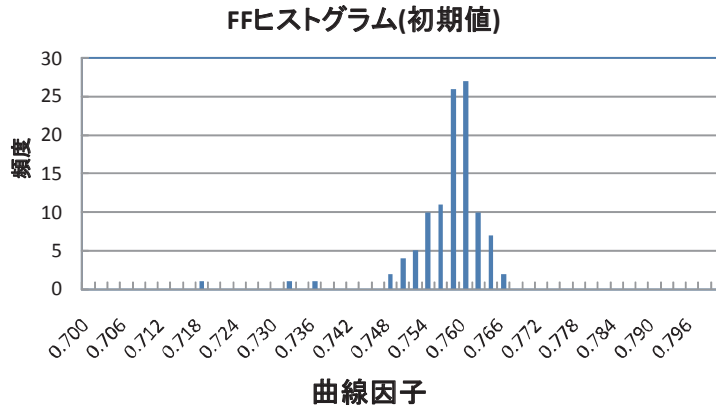


図 7.5 結晶系フルサイズモジュールにおける曲線因子の初期値のばらつき

湿潤漏れ電流試験では、1 GΩの抵抗で装置をチェックした。図 7.6 に示すように、コンソーシアムで作製したモジュールの抵抗値に変動があることがわかった。図 7.6 を、水温を横軸にとって書き直すと図 7.7 のようになり、抵抗値は水温に大きく依存することがわかった。ここで示す抵抗値の変化は、モジュールの良否判定の基準値とは桁で異なり、判定に影響を及ぼすものではないが、抵抗値を厳密に評価するためには、試験時の水温の管理が重要であることがわかった。水温の上昇とともに表面張力が減少し、モジュール内に水分が浸透しやすくなっている可能性を考え、その検証を進めているところである。

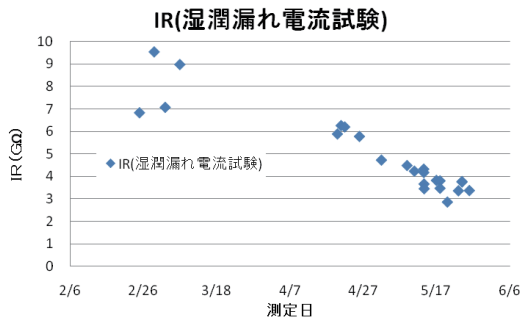


図 7.6 測定日によるモジュールの抵抗値の変遷

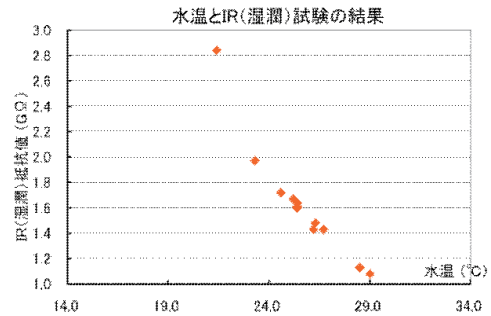


図 7.7 抵抗値の水温依存性

7.2 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。さらに、必要に応じて 500 時間毎の取出し等にも対応した。

・結露凍結（HF）試験

IEC61215 10.12 に準じた-40 °C～85 °C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 ピーク出力電流を通電するが、本コンソーシアムでは通電試験はオプションとした。

・通電サイクル試験

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。温度 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 3UV (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。

図 7.8 には TC 試験時の温度変化を示す。

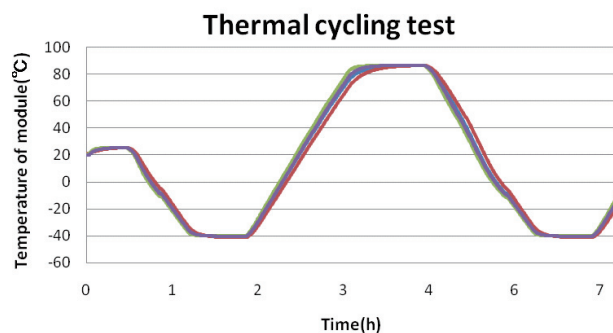


図 7.8 TC 試験時のモジュールの温度変化

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、参加企業のモジュール作製に先行して試験データを取得し、参加企業に提供することに努めた。図 7.9 には、産総研が作製した標準モジュールの試験状況を示す。

DH		n数	DH1000	DH2000	DH3000	DH4000
c-Si	Normal	3				
		3				
a-Si	Normal	3				
	SiO _x BS 切り込みのみ	3				
	SiO _x BS 穴	2				
	Normal 期限切	2				

TC		n数	TC50HF10	TC200	TC 4 00	TC600
c-Si	Normal NPCタブ	3				
	Normal NPCタブ	3				
	Normal 鳥栖タブver1	3				
	Normal 鳥栖タブver1	2				
	フレーム無 鳥栖タブver1	2				
	Normal 鳥栖タブver2	2				
a-Si	Normal	3				
	SiO _x BS 穴	3				
	SiO _x BS 切り込み	1				
	Test	3				

図 7.9 標準モジュールの試験状況

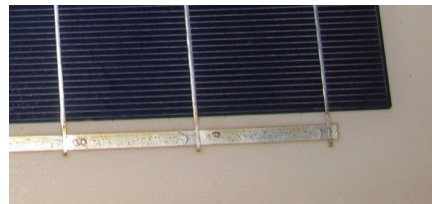


図 7.10 DH3000 後のタブ線の外観

標準モジュールの DH 試験後に観測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 7.10 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) アルミバックシートの薄膜系モジュールにおいて、図 7.11 に示すように、DH1000 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。一方、シリカ蒸着バックシートを用いた場合には当該個所の暗輝度部は見られなかった。アルミバックシートの場合には、絶縁をとるために、端子箱設置位置でバックシートを開口しているのに対して、シリカ蒸着バックシートの場合にはスリット状の切り込みを入れているだけであることによる違いと考えられる。
- 3) 結晶系 4 セルモジュールの DH3000 時間後、図 7.12 に示すように、セル周辺部で暗輝度部が見られるようになった。なお、DH3500 時間後以降に、暗輝度部が大きく拡大しているが、東日本大震災により DH 試験が強制終了したため、結露により劣化が加速した可能性がある。

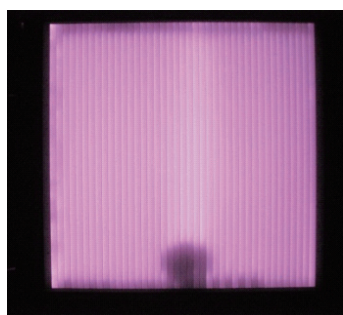


図 7.11 薄膜系モジュールの DH1000 後の EL 画像

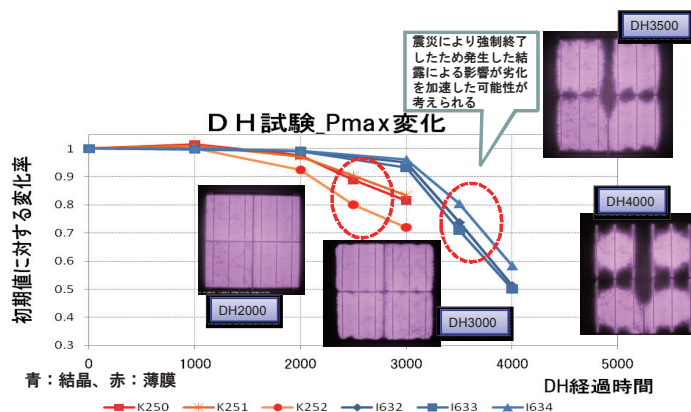


図 7.12 結晶系および薄膜系モジュールにおける DH 試験による特性変化

結晶系標準モジュールの TC/HF 試験では、図 7.13 に示すように、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。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。この場合、初期値に対する TC50HF10 試験後の曲線因子の変化率は-1.35%、初期値に対する TC400 試験後の曲線因子の変化率は-4.67%であった。また、図 7.14 に示すように、試験後の EL 画像において、3 本のバスバーのうち 1 本の近傍だけが明るく、他の 2 本の近傍は暗い現象も観測された。試験により、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が発生し、電流に偏りが生じたものと思われる。この場合、初期値に対する TC50HF10 試験後の曲線因子の変化率は-9.88%であった。図 7.15 には、薄膜系モジュールも含めた TC/HF 試験後の特性変化をまとめる。

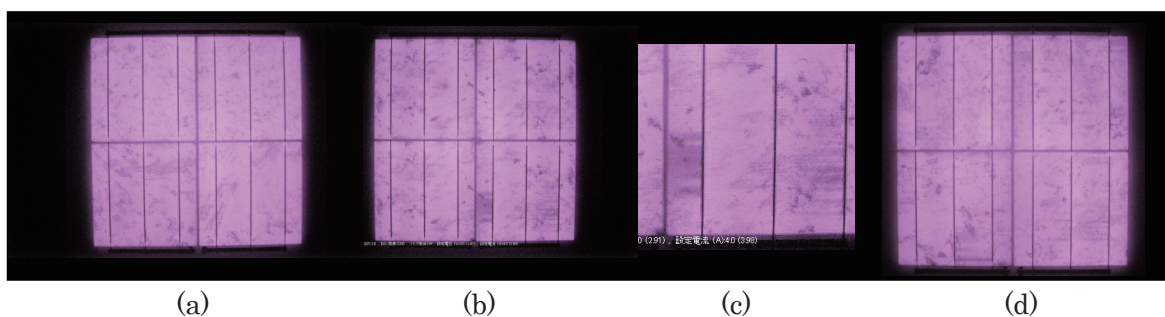


図 7.13 結晶系モジュールの(a)初期、(b)TC50/HF10 後 ((c)は(b)の赤丸部の拡大)、(d)TC400 後の EL 画像

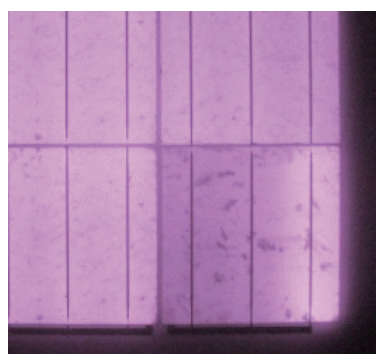


図 7.14 TC50/HF10 後に観測された EL の暗輝度部

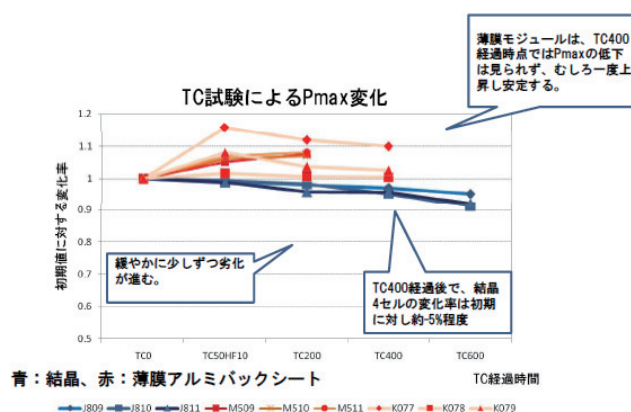


図 7.15 結晶系および薄膜系モジュールにおける TC/HF 試験による特性変化

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 7.16 に示す。通電有り と通電無し のサイクル試験を比較したところ、TC400 までは両者で大きな差は観測されなかった。モジュールに使用した封止材を比較したところ、ファーストキュアの EVA を用いた方が、スタンダードキュアの EVA を用いた場合よりも劣化が小さいことがわかった。

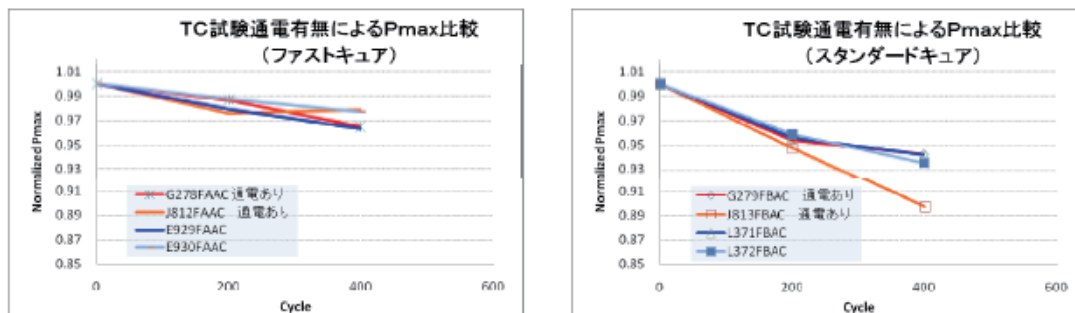


図 7.16 結晶系モジュールに対する通電サイクル試験の結果

結晶系モジュールに対する紫外光照射試験の結果を図 7.17 に示す。600 時間経過後も、最大出力値の変化は±1%以内であり、この範囲では試験による性能への影響は見られない。今後も試験を継続する予定である。

結晶系モジュールに対する複合加速試験の結果を図 7.18 に示す。400 時間経過後は、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。今後も試験を継続する予定である。

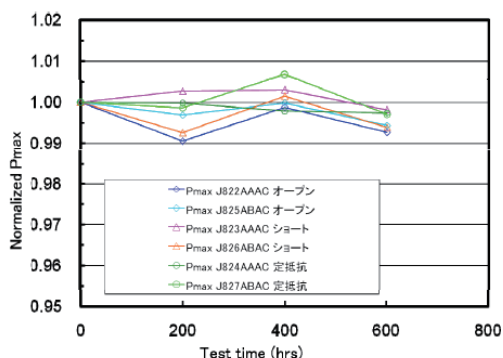


図 7.17 結晶系モジュールに対する紫外光照射試験の結果

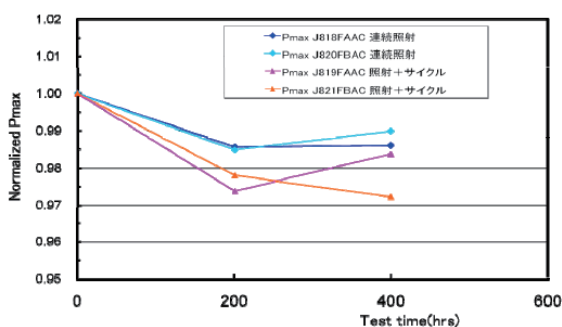


図 7.18 結晶系モジュールに対する複合加速試験の結果

図 7.19 には、コンソーシアムで作製したモジュールのうち、平成 22 年 4 月～平成 23 年 7 月の期間に信頼性試験を実施したモジュール台数の月毎の推移を示す。この中には、上記標準モジュールも含む。結晶 4 セルと薄膜 40 cm 角の合計が 1049 台、結晶単セルと薄膜 18 cm 角の合計が 1007 台、結晶フルサイズと薄膜フルサイズの合計が 79 台である。

図 7.20 には、DH 試験を実施した全ミニモジュールの試験後の最大出力値の変化を示す。最大出力の低下は DH2000 まではあまり観測されず、DH3000 以降に劣化が大きく進むことがわかる。一方で、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、DH5000 経過後も劣化が 3%未満の信頼性高いモジュールも存在することが示された。また、図 7.21 には、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を示す。

DH1000 後では、部材による顕著な傾向は見られない。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劣化が小さい。DH4000 後においても同様の傾向が見られる。

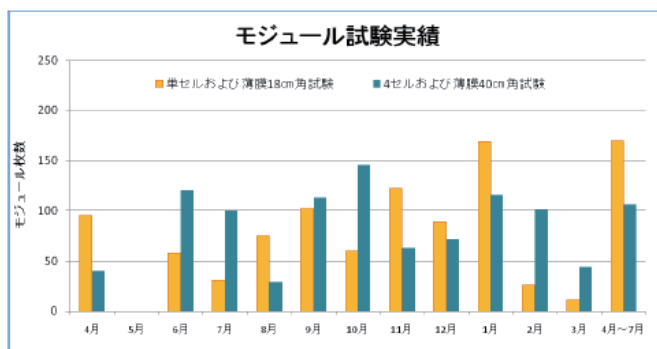
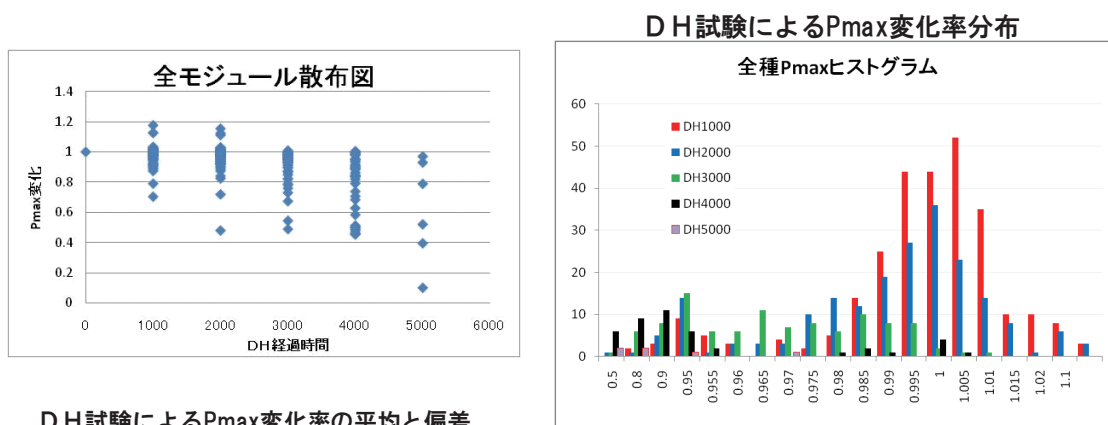


図 7.19 平成 22 年 4 月から平成 23 年 7 月までのモジュール試験実績



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

図 7.20 DH 試験を実施した全ミニモジュールの試験後の最大出力値の変化

図 7.22 には、TC/HF 試験を実施した全ミニモジュールの試験後の最大出力の変化を示す。試験の進行にともな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。一方で、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%未満の信頼性高いモジュールも存在することが示された。また、図 7.23 には、参加企業が持ち込んだ部材毎に TC/HF 試験後の特性変化をまとめた結果を示す。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。

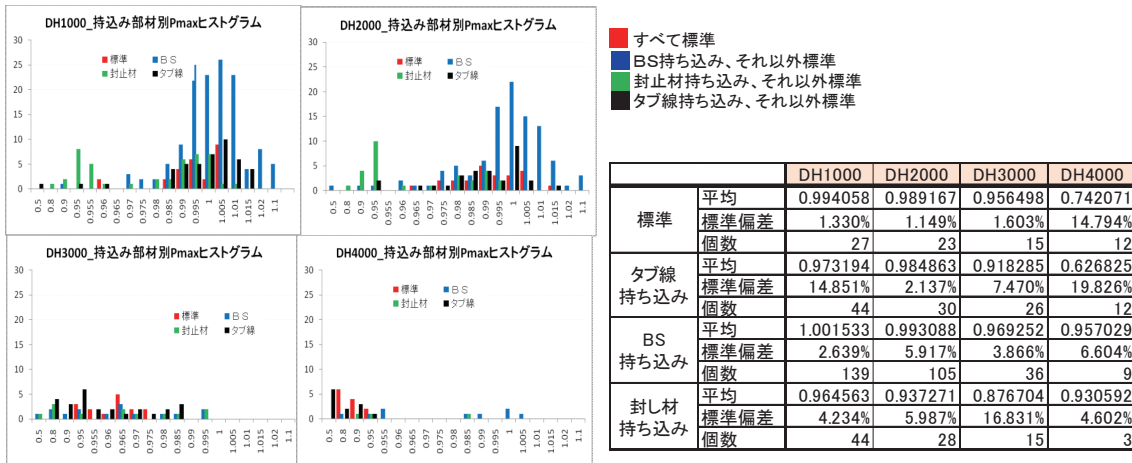
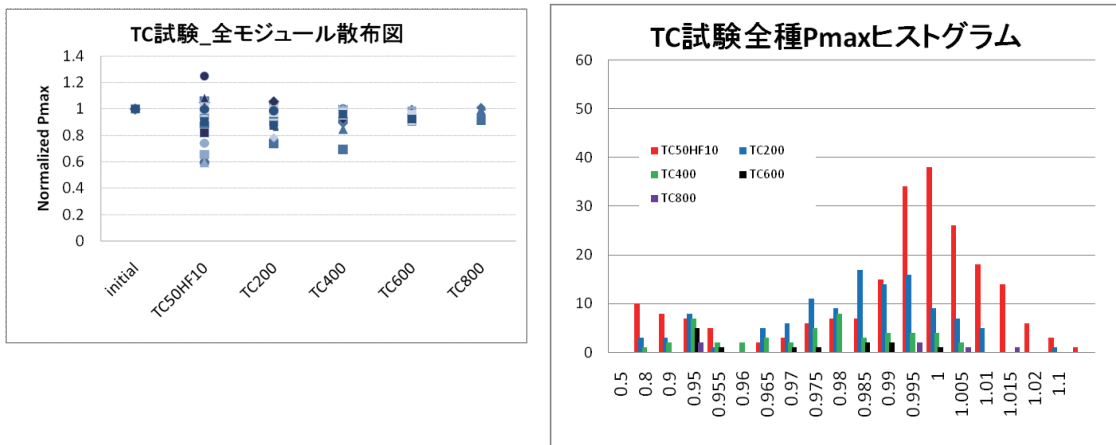


図 7.21 参加企業が持ち込んだ部材毎に DH 試験後の特性変化をまとめた結果



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

図 7.22 TC/HF 試験を実施した全ミニモジュールの試験後の最大出力値の変化

図 7.24 には、DH 試験を実施した全フルサイズモジュールの試験後の最大出力値の変化を示す。フルサイズモジュールにおいても、DH2000 までの範囲では、大半のモジュールにおいて劣化は 5%未満であり、産総研九州センター内の試作ラインにおいてフルサイズモジュールを安定して作製可能なことがわかる。図 7.25 には、TC/HF 試験を実施した全フルサイズモジュールの試験後の最大出力値の変化を示す。TC/HF 試験においても、TC200 までの範囲では、大半のモジュールにおいて劣化は 5%未満であることがわかる。

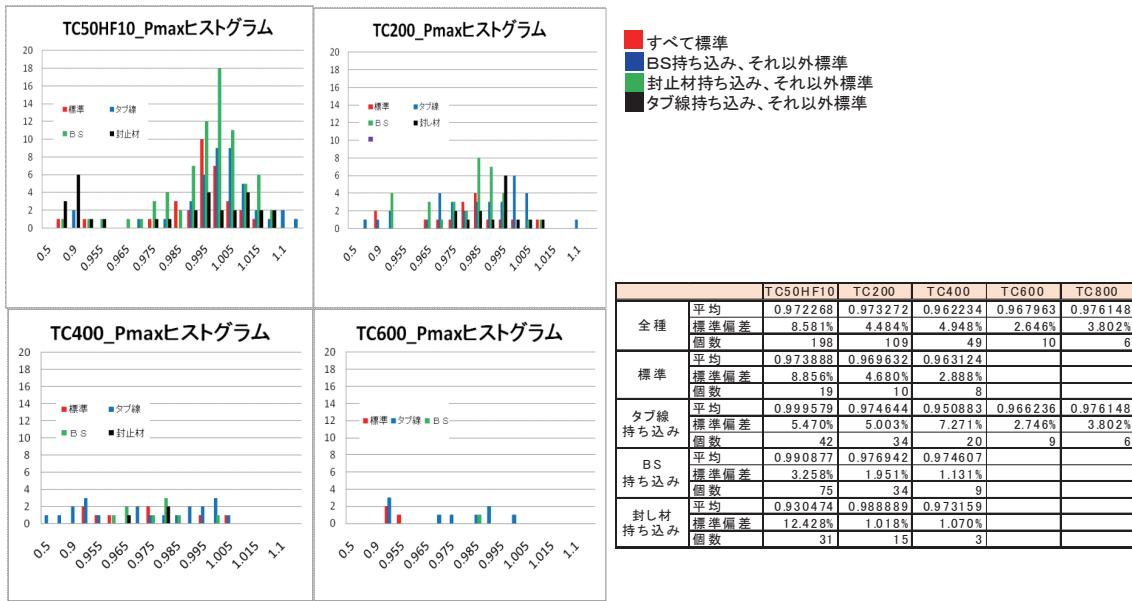
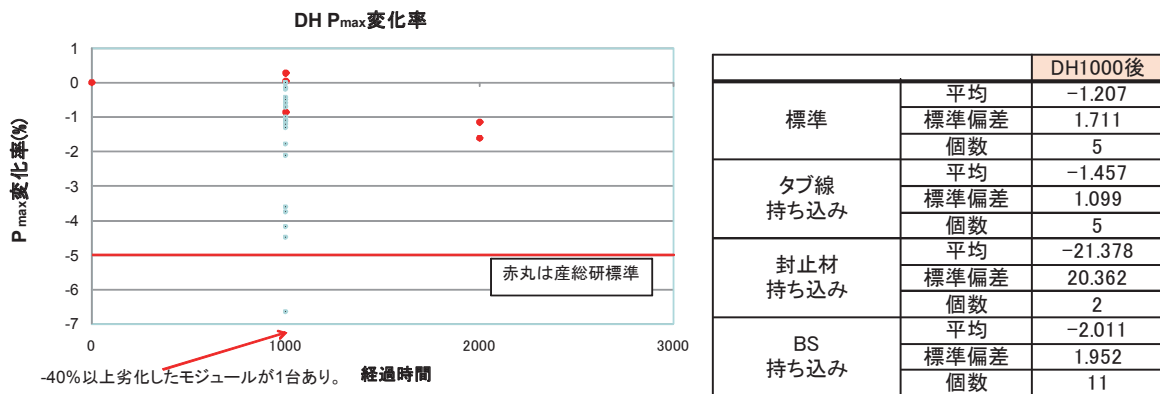


図 7.23 参加企業が持ち込んだ部材毎に TC/HF 試験後の特性変化をまとめた結果



-40%以上劣化したモジュールが1台あり。

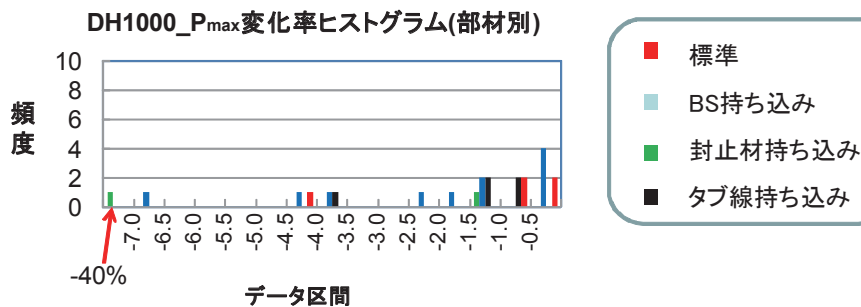


図 7.24 DH 試験を実施した全フルサイズモジュールの試験後の最大出力値の変化

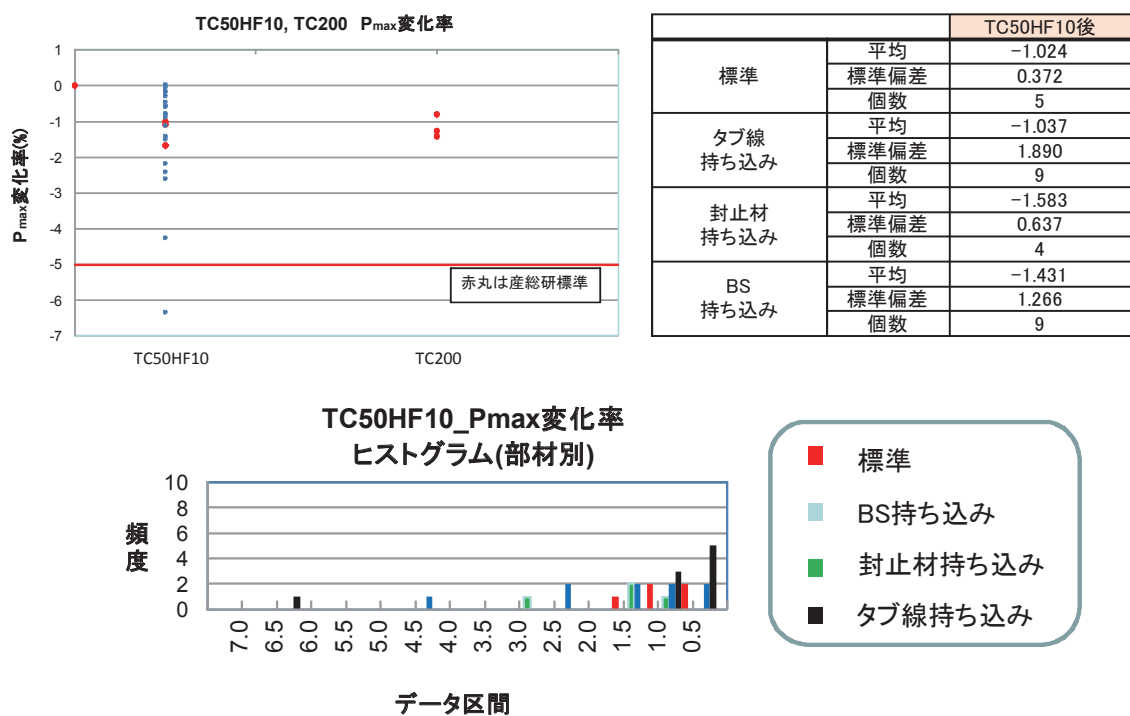


図 7.25 TC/HF 試験を実施した全フルサイズモジュールの試験後の最大出力値の変化

7.3 まとめ

産総研つくばセンターのミニサイズ用ならびに産総研九州センターのフルサイズ用モジュール試作・評価ラインを整備し、コンソーシアム期間中に 2,500 枚以上のモジュールを試作した。産総研では、標準部材から構成されるモジュールを作製し、DH 試験、TC/HF 試験を施すことにより、標準的な劣化の傾向を見極めた。さらに、コンソーシアム参加企業によって作製された全モジュールに対して、統計的なデータ整理を実施した。DH 試験では 3000 時間を境に劣化が進行する傾向にあった。TC/HF 試験では劣化は徐々に進行し、DH 試験のように急激に劣化が進行することはなかった。一方で、参加企業が持ち込んで部材を用いて作製したモジュールの中には、DH5000 後あるいは TC800 経過後も劣化がほとんど観測されないものも存在し、IEC で定められた規格で要求される 4~5 倍の信頼性を有するモジュールを作製可能なことを実証した。