

太陽電池モジュール及び風力発電翼用FRPの耐候性試験結果 —— 屋外暴露試験及び促進試験結果／製品分科会報告 ——

(財) 日本ウェザリングテストセンター

山口 富三雄

1. はじめに

本報告は、新発電に関連する要素機器・部品・周辺機器等の長期耐久性及び寿命予測の標準化のための調査研究を目的とした旧通商産業省工業技術院委託の「新発電システムの標準化に関する調査研究」の中の製品分科会の成果である。

製品分科会では、新発電システム機器を代表する製品として、太陽電池モジュール単体及び風力発電翼用FRP板を対象とした二つのワーキンググループに分け、次に示す目的のため調査研究を進めた。

- (1) 太陽電池ワーキンググループでは、太陽電池モジュールの屋外暴露試験における耐候性評価方法の標準化及び寿命予測を目的として、平成3年度から屋外暴露試験を実施し、11年間の耐候性結果を取得し、寿命予測を試みた。
- (2) 風力発電翼用FRPワーキンググループでは、屋外暴露試験における耐候性評価方法、寿命予測及び促進試験方法の確立を目的として、平成4年度から屋外暴露試験及び各種の促進試験を実施し、両者の耐候性結果から促進試験方法及び相関性について検討を行った。

以下、太陽電池モジュールと風力発電翼用FRPに分けて述べる。

2. 太陽電池モジュール

2.1 試験の概要

太陽電池モジュールの屋外暴露試験における耐候性評価方法及び寿命予測を目的とするため、4種類の光発電素子（アモルファスシリコン、単結晶シリコン系、多結晶シリコン系及び化合物）からなる太陽電池モジュールを対象とした屋外暴露試験を、千葉県銚子市新町（以下、銚子という。）及び沖縄県宮古郡上野村（以下、宮古島という。）の2場所で、平成4年2月20日から同時に開始した。

2.2 試験方法

試験は、実際の使用状態に近づけた評価を行うため、太陽電池モジュールには個々の最大出力付近での動作を仮定した抵抗値（ホーロー抵抗）を接続し、負荷を与えた状態での直接暴露試験（写真1）とし、個々の太陽電池モジュール（化合物を除く）にはモジュール内の温度が測れるように熱電対を埋め込んで行った。

なお、屋外暴露試験における太陽電池モジュールは、年間を通じて太陽光の受光量が多い角度に固定するため、銚子が南面30度、宮古島は南面20度とした。

2.3 試験体

太陽電池モジュールを試験体とし、アモルファスシリコン（2品種）、単結晶シリコン系（2品種）、多結晶シリコン系（1品種）及び化合物（1品種）の4種類・計6品種とし、仕様内容を表1に示す。また、試験体は市販の太陽電池モジュールの中から、屋外暴露試

験を行うための“暴露試験体”と、測定時のみ屋外で使用する以外は冷暗室に保管する“保存試験体”を、無作為に選んで区分した。

なお、保存試験体は、耐候性を評価するための基準として用いた。

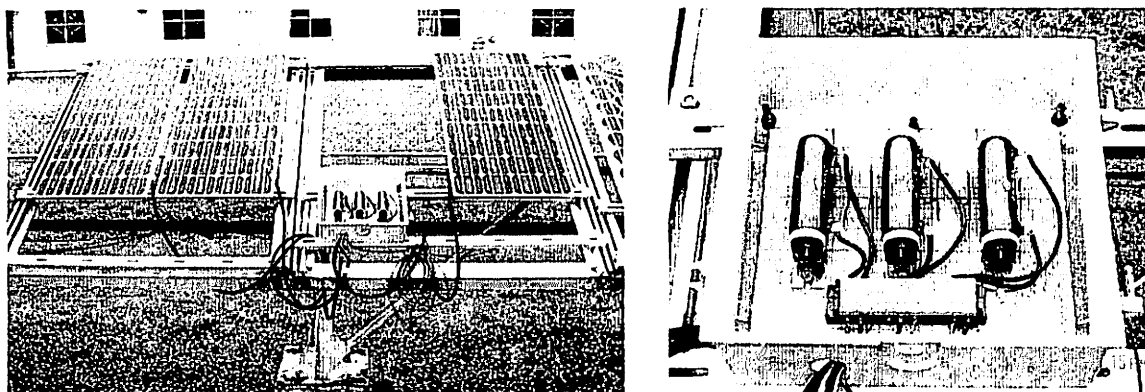


写真1 ホーロー抵抗を接続して負荷を与え暴露試験状況

表1 各種太陽電池モジュールの仕様

記号	光発電素子の種類	最大出力 Pm (W)	開放電圧 Voc (V)	短絡電流 Isc (A)	モジュール	
					面積 (㎡)	外形寸法 (m)
A	アモルファスシリコン	20	22	1.5	0.386	0.378×1.020×0.050
B	単結晶シリコン	50	22	3.0	0.378	0.390×0.970×0.035
C	多結晶シリコン	60	26	3.0	0.532	0.445×1.195×0.035
E	単結晶シリコン	50	22	3.5	0.399	0.422×0.945×0.030
F	化合物 (CdS/CdTe)	15	55	0.5	0.395	0.363×1.087×0.035
H	アモルファスシリコン	30	30	1.5	0.566	0.461×1.227×0.050

2.4 測定評価

測定評価は、外観観察、絶縁抵抗及び電氣的出力特性の項目について、年2回（夏期及び冬期）の測定を行い、電氣的出力特性について20年後の予測を試みた。

2.5 結果及び考察

銚子及び宮古島の屋外暴露試験における11年間の外観観察、絶縁抵抗、電氣的出力特性の結果及び考察を、次に述べる。

(1) 外観

全体的な外観の変化は、30か月～48か月暴露以降、異種金属（アルミニウムフレームとステンレスねじ）の接触腐食と思われる白錆がアルミニウムフレーム側に発生したが、その後の変化は少ない。また、品種によってアルミニウムフレーム表面の光沢低下、裏面側に盛上がった白錆、セル部分の白濁（写真2）又は腐食、バックカバー（白色PVF）の白亜化、フロントカバー表面に貼り合わせた透明フィルムの直線状の長い膨れ及び白濁が、それぞれ現われたが、化合物太陽電池モジュールを除き、電氣的出力特性

等への影響は見られない。



セル部分の白濁

約 10 倍

約 100 倍

写真2 結晶シリコン系太陽電池モジュールにおけるセル部分の白濁

(2) 絶縁抵抗 絶縁抵抗値の結果の一部を、図1～図6に示す。

アモルファスシリコン及び結晶シリコン系の絶縁抵抗値は、 $10\text{M}\Omega$ 以下を示すものが現われたが、電気設備に関する技術基準に定められている省令の絶縁抵抗判定基準値 ($0.1\text{M}\Omega$) を上回っていた。一方、化合物の絶縁抵抗値は、48 か月暴露以降、殆どが $1\text{M}\Omega$ 以下と低くなり、中には電気設備に関する技術基準に定められている省令の絶縁抵抗判定基準値 ($0.1\text{M}\Omega$) を下回るものも現われた。この化合物の絶縁抵抗値の変化は、モジュール構成上の欠陥等の原因によってセル内部に水分が浸入し、セル部分が腐食したためと推測される。

なお、絶縁抵抗値の全体的な変化傾向は、気温及び湿度の高い夏期測定時に低く、気温及び湿度の低い冬期測定時に高く現われることから、特に、大気中の水分が大きく影

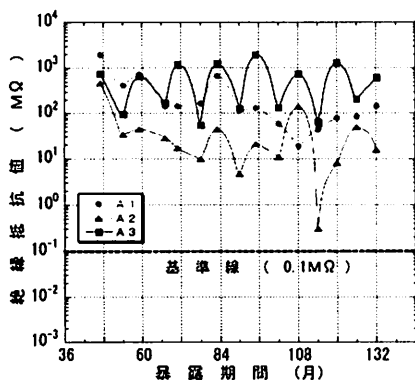


図1 屋外暴露試験における絶縁抵抗値の経年変化【アモルファスシリコン (A: 鏡子)】

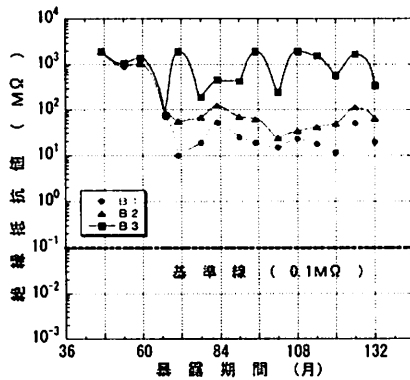


図2 屋外暴露試験における絶縁抵抗値の経年変化【単結晶シリコン (B: 鏡子)】

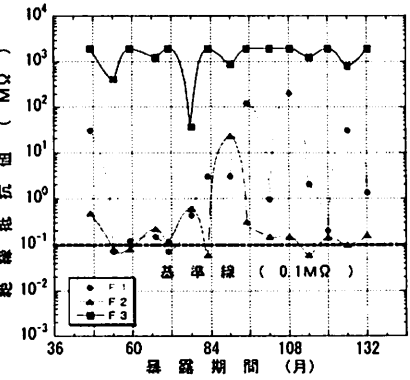


図3 屋外暴露試験における絶縁抵抗値の経年変化【化合物 (F: 鏡子)】

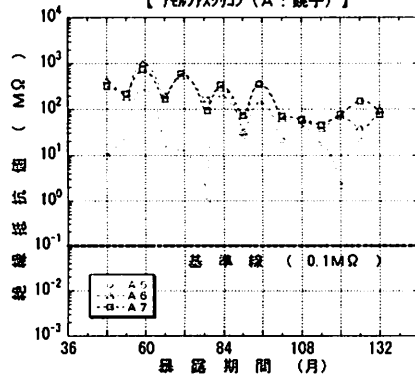


図4 屋外暴露試験における絶縁抵抗値の経年変化【アモルファスシリコン (A: 宮古島)】

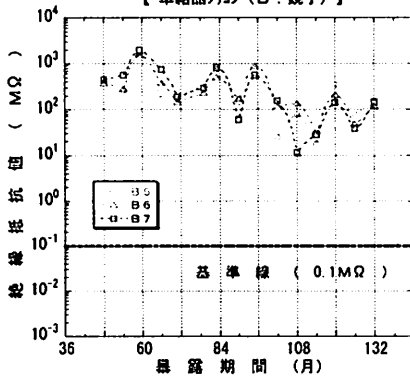


図5 屋外暴露試験における絶縁抵抗値の経年変化【単結晶シリコン (B: 宮古島)】

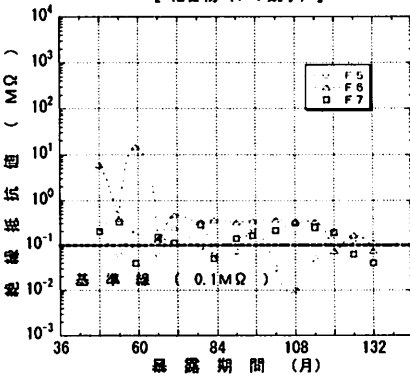


図6 屋外暴露試験における絶縁抵抗値の経年変化【化合物 (F: 宮古島)】

響しているものと思われる。

(3) 電氣的出力特性 発電素子別のモジュール特性 (P_m/I_{rr})、モジュール特性保持率 (%) 及びモジュール特性保持率の夏期と冬期に分けて変化傾向を指数式に当てはめた結果の一部を、図 7~図 24 にそれぞれ示す。

なお、本調査研究における電氣的出力特性は、快晴時における自然太陽光の基で測定し、照度及び温度補正等を行っていないため、JIS 規格に表記されているモジュール変換効率と区別するため、モジュール特性 (P_m/I_{rr}) と表記した。

a) アモルファスシリコン

モジュール特性 (P_m/I_{rr}) は、各品種ともに冬期測定時に減少し、夏期測定時に増加する傾向を繰返しながら暴露試験体は、暴露期間の経過に伴って減少する傾向 (図 7、図 10) と、暴露開始後 6 か月で減少した後、変化が横ばいとなる二つの変化傾向を示したが、保存試験体の変化は 11 年間ほぼ横ばいであった。また、モジュール特性保持率 (%) の結果からは、前掲で述べたように二つの変化傾向が明らかとなった。

このように、モジュール特性 (P_m/I_{rr}) の結果が、夏期及び冬期の測定で異なる原因として、一般的に言われている光劣化と熱回復による影響及び太陽光スペクトルの季節変動による影響と言える。

次に、寿命予測を試みるため、夏期及び冬期に分けたモジュール特性保持率 (%) の変化傾向を指数式に当てはめ 10 年目及び 20 年後を求めた結果 (図 9、図 12)、10 年目のモジュール特性保持率は、銈子が 47%~81%、宮古島は 58%~85% となり、品種、暴露場所及び測定時期の違いにより性能変化が大きく異なった。また、20 年後の予測では、一部のモジュール特性保持率が銈子及び宮古島ともに 50% を下回る結果となった。

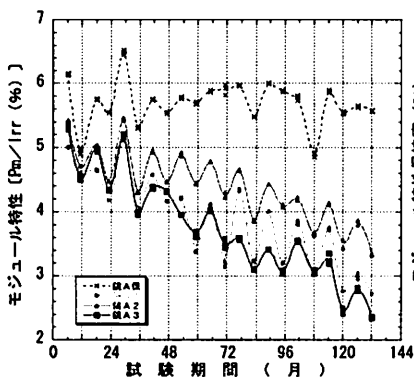


図7 屋外暴露試験におけるモジュール特性の経年変化【アモルファスシリコン (A:銈子)】

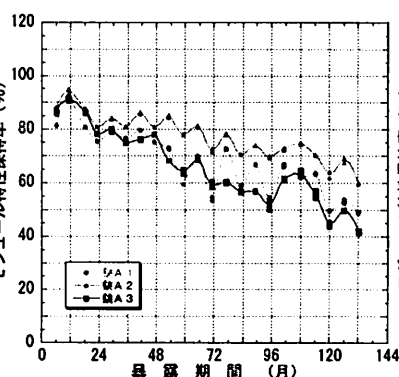


図8 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【アモルファスシリコン (A:銈子)】

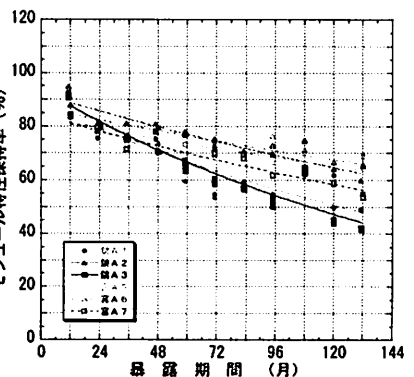


図9 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【アモルファスシリコン (A:冬測定)】

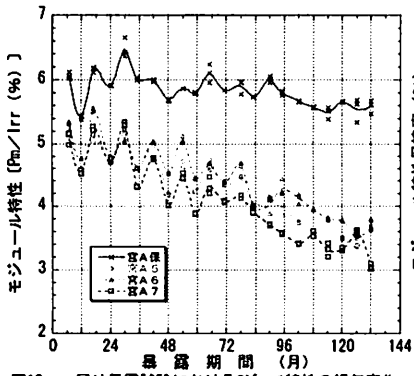


図10 屋外暴露試験におけるモジュール特性の経年変化【アモルファスシリコン (A:宮古島)】

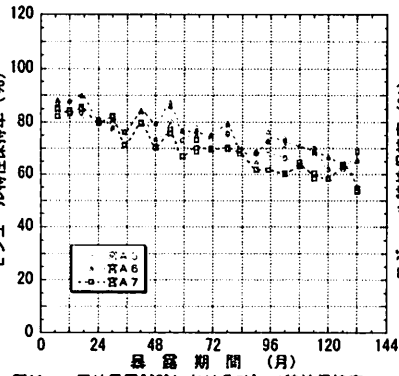


図11 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【アモルファスシリコン (A:宮古島)】

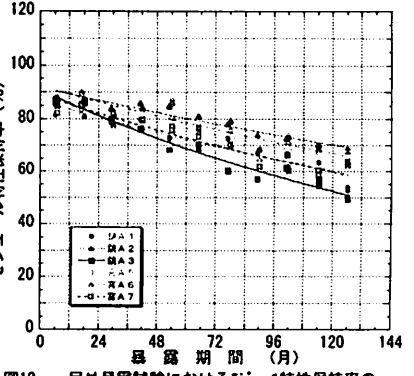


図12 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【アモルファスシリコン (A:夏測定)】

b) 結晶シリコン系

モジュール特性 (P_m/Irr) はアモルファスシリコンの場合と反対に、各品種ともに夏期測定時に減少し、冬期測定時に増加する傾向を繰り返しながら、暴露試験体及び保存試験体ともに僅かな増加 (図 13)、又は減少する傾向 (図 16) を示したが、モジュール特性保持率 (%) の結果 (図 14、図 17) は、一部を除き、ほぼ横ばいの傾向であった。

なお、モジュール特性 (P_m/Irr) の結果が、夏期及び冬期の測定で異なる原因として、前掲のアモルファスシリコンで述べたことが影響したと言える。

次に、寿命予測を試みるため、夏期及び冬期に分けたモジュール特性保持率 (%) の変化傾向を指数式に当てはめ 10 年目及び 20 年後を求めた結果 (図 15、図 18)、10 年目のモジュール特性保持率は、銚子が 94%以上、宮古島は 90%以上であり、品種、暴露場所及び測定時期の違いによる性能変化の違いは小さかった。また、20 年後の予測では、品種によって 80%代を示すものも現われたが、殆どは約 90%以上であった。

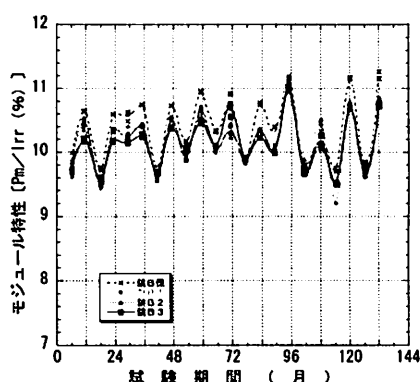


図13 屋外暴露試験におけるモジュール特性の経年変化【単結晶シリコン系 (B:銚子)】

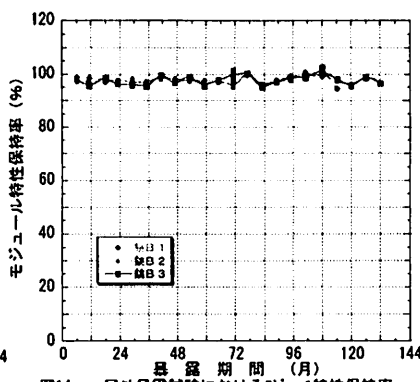


図14 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【単結晶シリコン (B:銚子)】

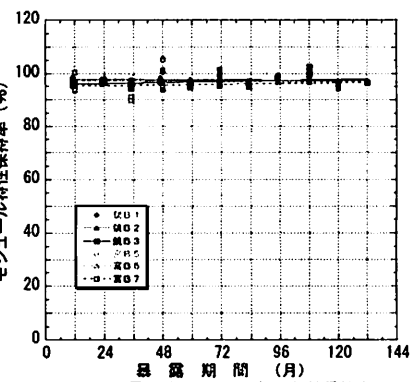


図15 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【単結晶シリコン (B:冬測定)】

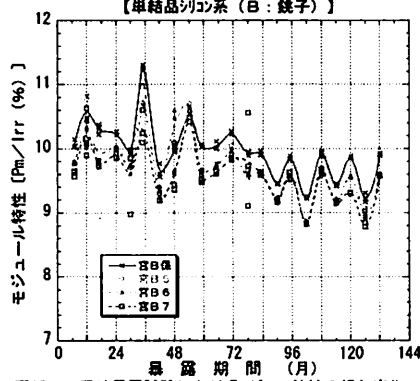


図16 屋外暴露試験におけるモジュール特性の経年変化【単結晶シリコン (B:宮古島)】

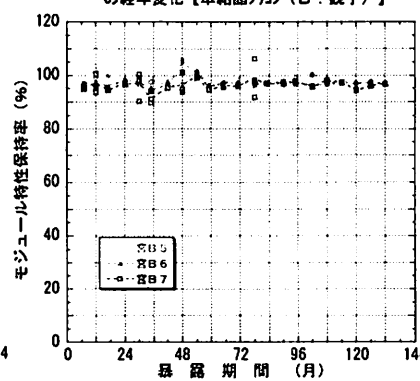


図17 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【単結晶シリコン (B:宮古島)】

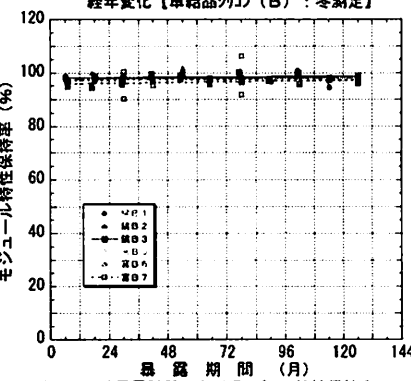


図18 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【単結晶シリコン (B:夏測定)】

c) 化合物

モジュール特性 (P_m/Irr) は、結晶シリコン系の場合と同様に、夏期測定時に減少し、冬期測定時に増加する傾向を繰り返しながら暴露試験体は、暴露期間の経過に伴って減少する傾向 (図 19、図 22) を示したが、保存試験体の変化は 11 年間ほぼ横ばいであった。一方、モジュール特性保持率 (%) の結果は、暴露期間の経過に伴って減少する傾向 (図 20、図 23) が明らかとなり、宮古島における暴露試験体 3 体の内 1 体は、11 年暴露後に全く発電しなくなった。

このようにモジュール特性 (P_m/Irr) が減少した原因として、外観の変化でも述べ

たようにガラス表面に貼り合わせた透明フィルムが、白く濁り太陽光線を遮ることが影響したものと思われる。また、宮古島の暴露試験体1体が11年暴露後に全く発電しなくなった原因として、発電素子の劣化ではなく、モジュール構成上の弱点が影響したものと思われる。

次に、寿命予測を試みるため、夏期及び冬期に分けたモジュール特性保持率(%)の変化傾向を指数式に当てはめ10年目及び20年後を求めた結果(図21、図24)、10年目のモジュール特性保持率は、銩子が88%~93%、宮古島は77%~83%(1体は132か月で故障)となり、測定時期の違いによる性能変化の差は約5%、暴露場所による差は約10%であった。また、20年後の予測では、銩子が80%~90%、宮古島は63%~73%となり、宮古島の性能低下が大きく現われる結果となった。

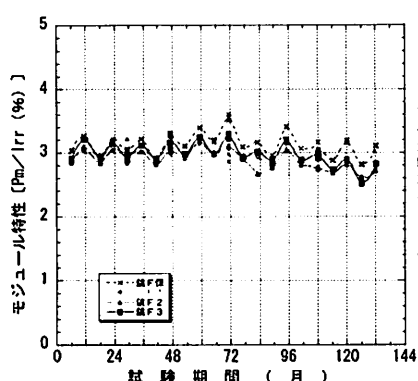


図19 屋外暴露試験におけるモジュール特性の経年変化【化合物(F:銩子)】

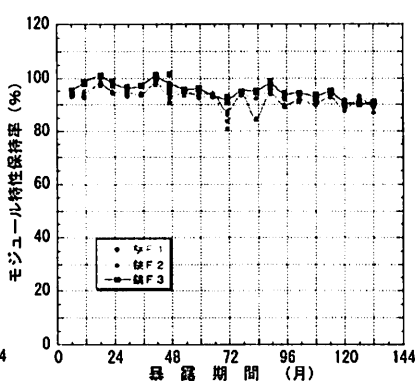


図20 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【化合物(F:銩子)】

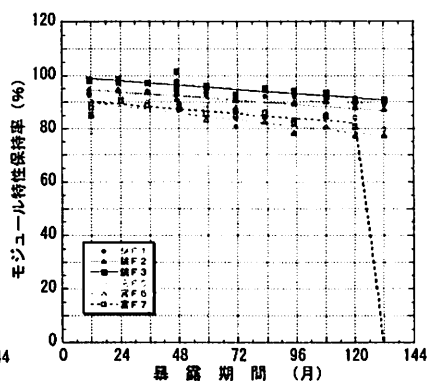


図21 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【化合物(F:冬測定)】

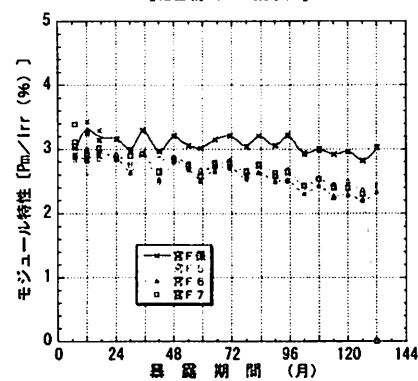


図22 屋外暴露試験におけるモジュール特性の経年変化【化合物(F:宮古島)】

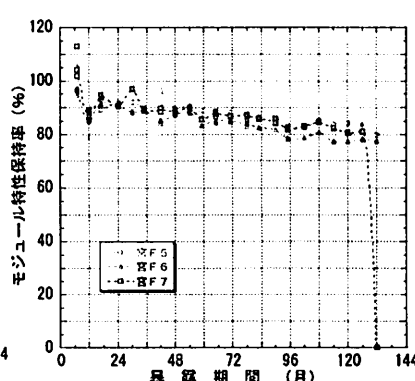


図23 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【化合物(F:宮古島)】

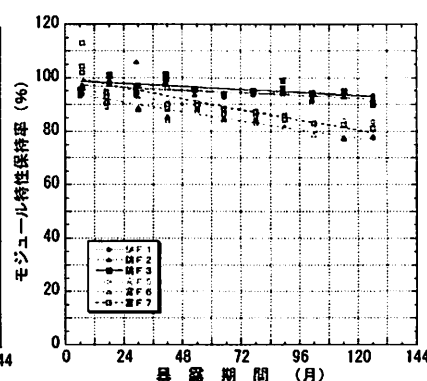


図24 屋外暴露試験におけるモジュール特性保持率の経年変化【化合物(F:夏測定)】

2.6 まとめ

太陽電池モジュール単体の実使用を想定した屋外暴露試験における耐候性評価方法を標準化する調査研究により、11年間の耐候性データを取得し、実使用に近い状態での10年間におよぶ耐候性の性能評価を行うことができた。

また、太陽電池モジュールの寿命予測として、モジュール特性保持率(%)の経時的な変化傾向から予測を試みたが、中にはモジュール構成上の欠陥等が原因で、突然、出力が停止したものが現われたため、モジュール構成全体を含めた評価も必要と思われる。

なお、本研究の結果から、モジュール構成全体を含めた評価方法の一つとして、絶縁抵抗の評価が有効であると考えられが、この測定を屋外で行う場合、環境の影響を受けて大きく変動するため、測定及び評価方法等について、更に、検討する必要がある。

3. 風力発電翼用FRP

3.1 試験の概要

風力発電の翼用材料として幅広く使用されているFRP（ガラス繊維強化プラスチック）の耐候性評価方法、寿命予測及び促進試験方法の確立を目的とするため、比較的、生産性が優れ、製造コストが安価で、且つ、製品のバラツキが少なく、耐候性試験試料として安定した試験結果が期待できる不飽和ポリエステル樹脂を用いた引抜き成形法による成形品を試料とし、屋外暴露試験及び各種の促進試験を、平成4年度から実施した。

3.2 試験方法

(1) 屋外暴露試験

屋外暴露試験は、JIS Z 2381 に準拠した直接暴露試験（以下、通常暴露という。）と、3通りの曲げ変形を与えた応力下暴露試験（写真3）を、千葉県銚子市新町（以下、銚子という。）において平成4年12月、沖縄県宮古郡上野村（以下、宮古島という。）において平成4年11月から、それぞれ実施した。

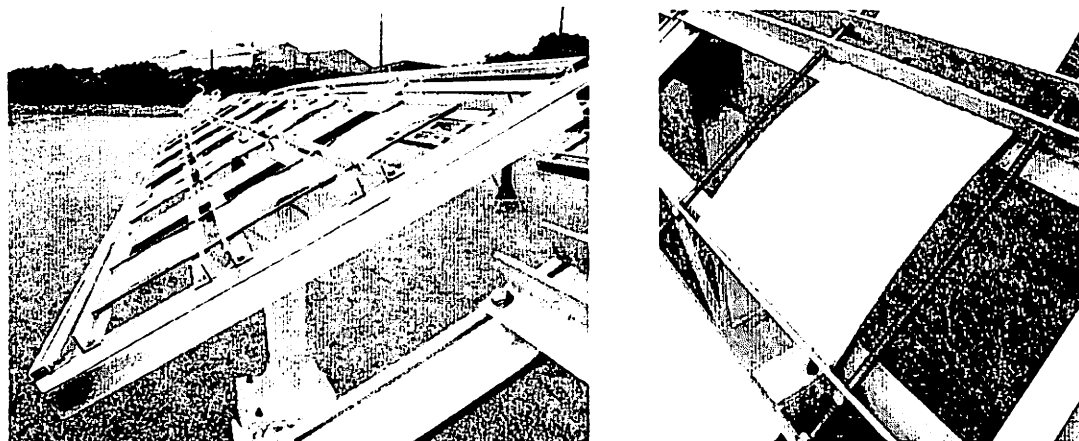


写真3 曲げ変形下における屋外暴露試験状況（銚子：南面30度）

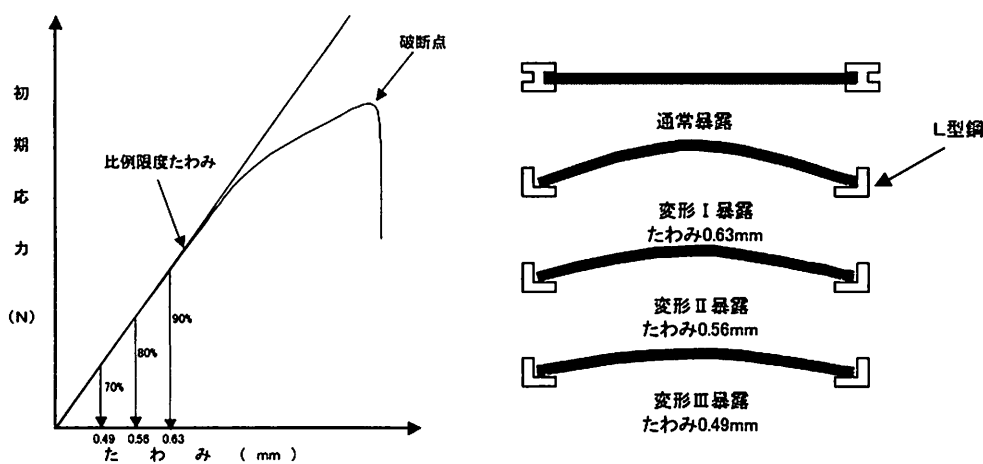


図25 曲げ変形下暴露における変形量の求め方及び暴露方法

なお、曲げ変形を与える応力下暴露試験は、図25に示すように、予め、JIS K 7055による3点曲げ試験から求めた比例限度たわみ（10nの平均）を基準として、その90%のたわみ（以下、変形I暴露という。）、80%のたわみ（以下、変形II暴露という。）、70%のたわ

み（以下、変形Ⅲ暴露という。）を、試験体の両端から押え込んで曲げ変形による負荷を与えた暴露試験（以下、曲げ変形下暴露という。）であり、屋外暴露試験における促進性を増した試験と言える。

なお、屋外暴露試験における試験体は、年間を通じて太陽光の受光量が多い角度に固定するため、銚子が南面 30 度、宮古島は南面 20 度とした。

(2) 促進試験

促進試験は、JIS B 7753 に準拠したサンシャインカーボンアーク灯式耐候性試験機（以下、SW 試験と略記。）、JIS B 7754 に準拠したキセノンアークランプ式耐候性試験機（以下、XW 試験と略記。）及び JTM G01 に準拠したメタルハライド方式試験機（以下、SUV 試験機と略記。）を、それぞれ用いて随時、実施した。

なお、各種の促進試験における試験条件を纏めて表 2 に示す。

表2 各種の促進試験における試験条件

試験方法	照 射				暗 黒 結 露			休 止			水噴霧 時間 (S)	サイクル条件
	放射照度 (W/m ²)	ブラックパネル 温度(°C)	湿度 (%)	時間 (hr)	ブラックパネル 温度(°C)	湿度 (%)	時間 (hr)	ブラックパネル 温度(°C)	湿度 (%)	時間 (hr)		
SUV-1	1000	83	50	3	30~40	98<	1				60	照射/暗黒結露
SUV-2	1000	83	50	連続	30~40	98<					無し	連続照射
SUV-3	1000	83	50	1	30~40	98<	1				60	照射/暗黒結露
SUV-12	1000	50	50	0.3	30~40	98<	0.2	40	80	0.2	5	照射/暗黒結露/休止
SUV-13	1000	50	50	0.3	30~40	98<	0.2	40	50	0.2	1	照射/暗黒結露/休止
SUV-14	1000	63	70	0.3	30~40	98<	0.3	40	85	0.8	180	照射/休止/暗黒結露
SW試験	78	63	50	連続	120分照射中に18分間の水噴霧						連続照射中に水噴霧	
XW試験(180)	180	63	50	連続	120分照射中に18分間の水噴霧						連続照射中に水噴霧	
XW試験(60)	60	63	50	連続	120分照射中に18分間の水噴霧						連続照射中に水噴霧	

注1) 水噴霧は、暗黒結露の前後に行う。湿度は相対湿度である。

注2) 暗黒結露時におけるブラックパネル温度は、コントロールができないため実際の温度範囲を示した。

3.3 試験体

試験体は、不飽和ポリエステル樹脂を用いて引抜き成形法によって作成（以下、ポリエステル FRP 板という。）し、その組成内容を表 3、繊維構成を図 26 に、それぞれ示す。

試験体の寸法は、屋外暴露試験が 280×280×3 mm、SW 試験及び XW 試験は 70×150×3 mm と 70×280×3 mm の 2 形状、SUV 試験は 65×90 mm×3 mm とし、所定期間終了後の測定評価は各評価項目にあわせた寸法に切削して試験片とした。

表3 試験体の組成内容

材 料	種 類	JIS 番 号	含有率 wt (%)
樹 脂	オルソ系 不飽和ポリエステル樹脂	JIS K 6919 UP-G 相当品	46
充 填 材	水酸化アルミニウム (炭酸カルシウム含まず)	—	12
着 色 剤 (グレー色)	カーボンブラック 酸化チタン	—	1
ガラス繊維	チョブドストランドマット	JIS R 3411	19
	ロービング	JIS R 3412	20
不 織 布	ポリエステル(厚さ0.15mm)	—	2

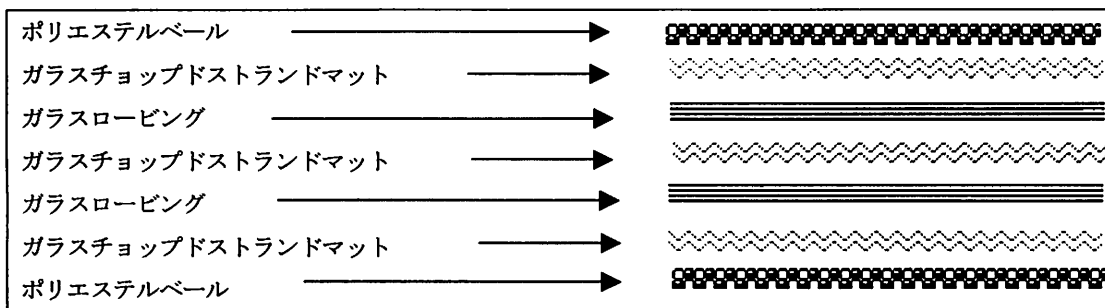


図26 試験体の繊維構成

3.4 測定評価

測定評価は、表面変化（外観、質量、光学的性質）及び力学的特性（引張試験、曲げ試験、特衝試験）の項目について測定を行い、各特性値の経時変化の傾向を求めた。

また、寿命予測の一例として、屋外暴露試験における力学的特性について、直交多項式による信頼性解析を行い10年目及び20年後を推定し、又、屋外暴露試験と各種の促進試験との関係では、変化が顕著に現われた質量、光沢度及びシャルピー衝撃値の各保持率から、銚子における屋外暴露試験を基準とした促進倍率を求めた。

3.5 結果及び考察

(1) 表面変化 光沢度の変化は、屋外暴露試験が1年以内（図27）、促進試験によるSW試験及びXW試験は約1,000時間以内、SUV試験は100時間以内に、それぞれ光沢保持率が数%まで低下した（図28）。ガラス繊維の浮き出し状況は、屋外暴露試験が約7年以降、促進試験によるSW試験は約6,000時間以降、SUV試験は早い条件で約1,000時間以降にそれぞれ現われたが、XW試験（放射照度60W/m²で最長6,000時間、放射照度180W/m²で最長3,000時間）ではガラス繊維の浮き出しは現われなかった。

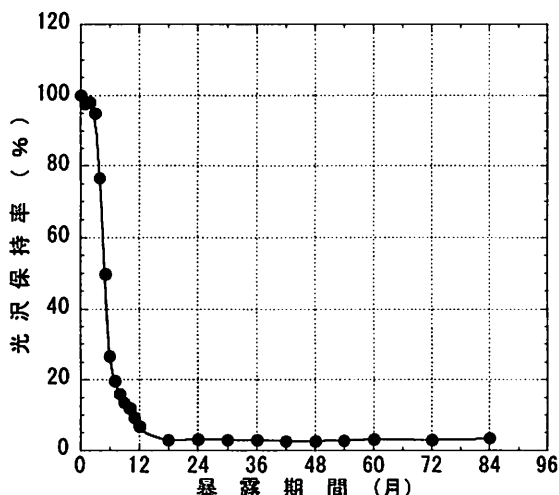


図27 屋外暴露試験における光沢保持率の経時変化
【ポリエステルFRP板：銚子暴露】

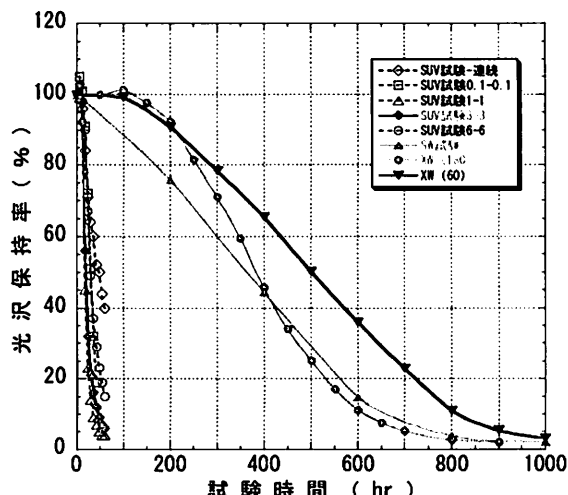


図28 各種促進試験における光沢保持率の経時変化の比較【ポリエステルFRP板】

色差及び黄変度の変化は、屋外暴露試験（図29）と促進試験によるSW試験及びXW試験（図30）の変化がほぼ同程度の傾向を示したが、SUV試験の変化は試験の初期段階に屋外暴露試験では現われないほどの著しい増加を示した後、屋外暴露試験の変化と同程度近くまで減少した。

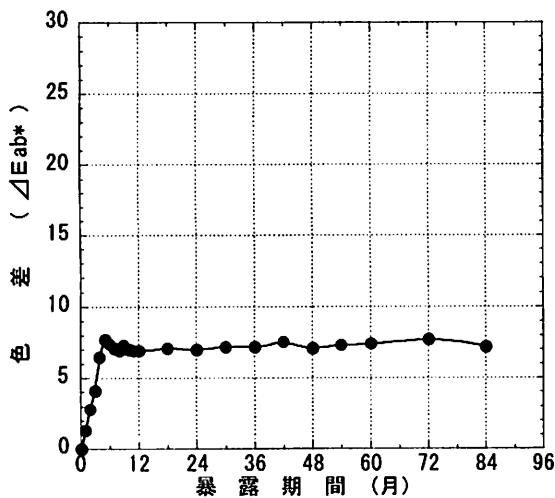


図29 屋外暴露試験における色差の経時変化
【ポリエステルFRP板：銚子暴露】

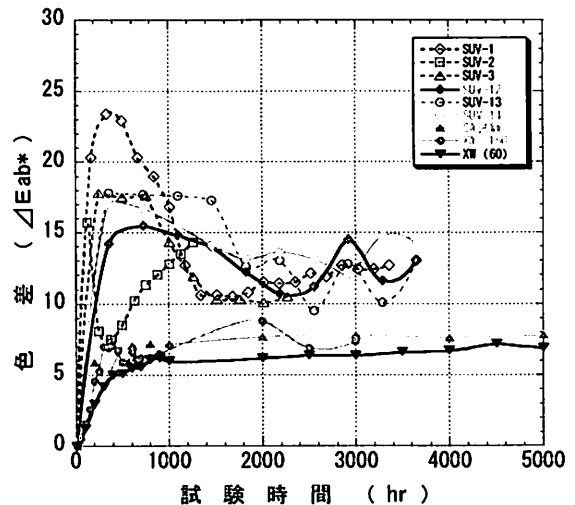


図30 各種促進試験における色差の経時変化の比較
【ポリエステルFRP板】

これらの変化は、主に、紫外線の影響を受けて表面の不飽和ポリエステル樹脂が劣化し、これが風雨及び砂塵等によって脱落する過程を繰り返し、最終的に樹脂内部のガラス繊維が浮き出してくるものと思われるが、促進試験機では光源の種類、放射照度及び水噴霧の条件等が異なるため、表面樹脂の劣化程度及びガラス繊維の浮き出し状況は大きく異なつた。これらの結果から、促進試験によって劣化した樹脂を脱落させ、ガラス繊維を浮き出させるための要因として、水噴霧の影響が大きく関与しているものと言える。

(2) 力学的特性 屋外暴露試験における10年間の結果は、試験期間ごとの変動(試料間のバラツキ)及び測定値の変動(繰り返し数5本のバラツキ)が大きく現われるため、経時変化の傾向を見出しにくい。一方、シャルピー衝撃値の結果(図31、図32)から若干の減少する兆候が見られた。一方、促進試験では、SW試験による長時間(10,000時間以上)の試験(図33)、又、SUV試験による光照射—暗黒結露(水スプレー有り)サイクルを取り入れた幾つかの条件で、宮古島における10年相当分の紫外線量を受光させた試験(図34)から、力学的特性が減少する傾向が確認された。

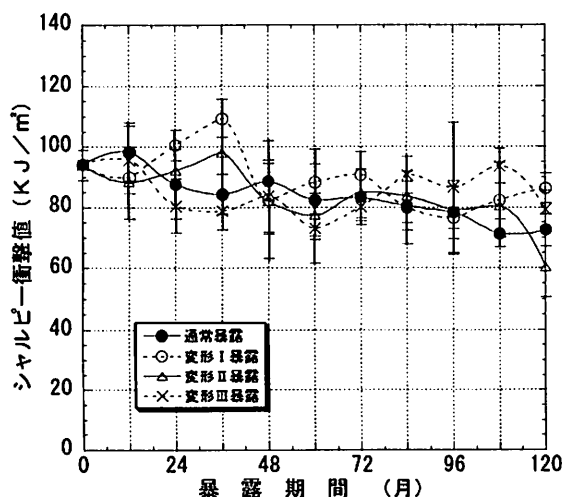


図31 屋外暴露試験(銚子)によるシャルピー衝撃値
【ポリエステルFRP板】

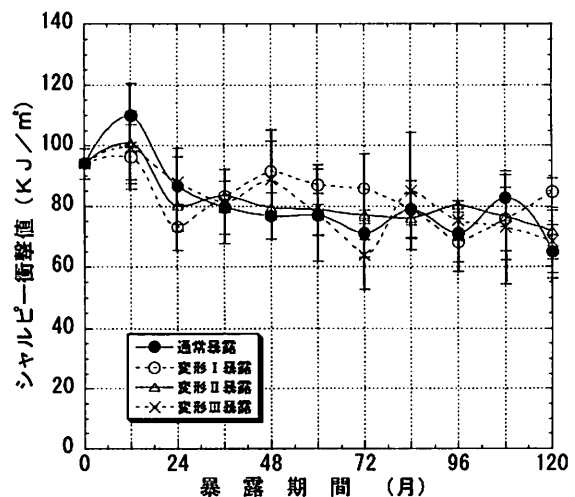


図32 屋外暴露試験(宮古島)によるシャルピー衝撃値
【ポリエステルFRP板】

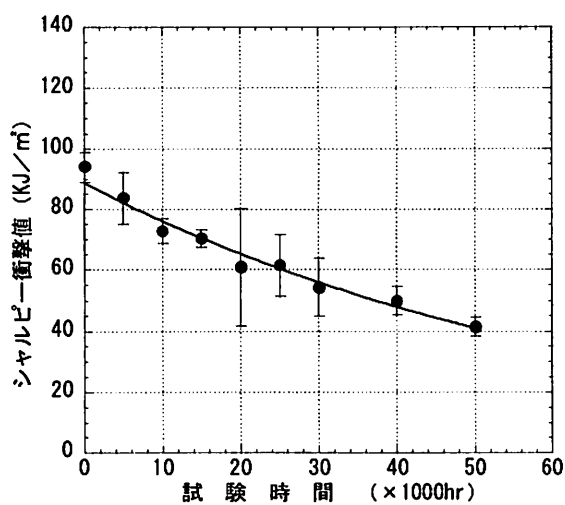


図33 SW試験におけるシャルピー衝撃値【ポリエステルFRP板】

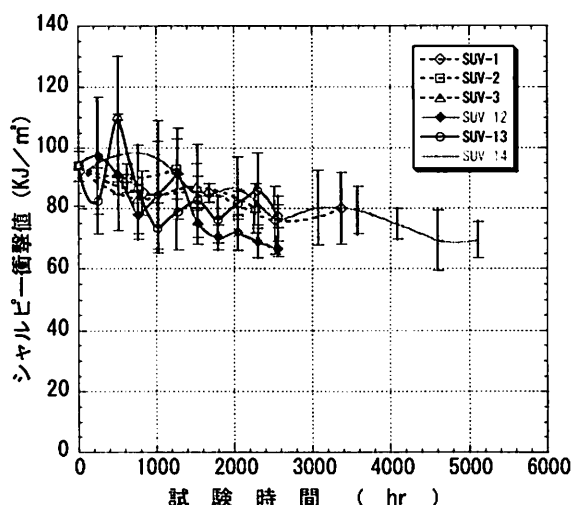


図34 SUV試験におけるシャルピー衝撃値【ポリエステルFRP板】

(3) 寿命予測の一例 屋外暴露試験における10年間の力学的特性結果を用いて分散分析を行い、更に、直交多項式(チェビシェフ)による予測式を定義し、信頼限界を求めた。以下に直交多項式を示す。

$$y = a_0 + a_1(A - \bar{A}) + a_2 \{ a_{20} + a_{21}(A - \bar{A}) + (A - \bar{A})^2 \} + a_3 \{ a_{30} + a_{31}(A - \bar{A}) + a_{32}(A - \bar{A})^2 + a_{33}(A - \bar{A})^3 \}$$

この式は、三次の項まで表現しているが、実際の使用に耐えるのは二次の項までである。一例として、この式によって求めたシャルピー衝撃値の外挿予測及び信頼限界の結果を、図35に示す。この結果、試験期間の効果よりデータそれ自体のバラツキが著しく大きく現われるため、予測式を求めて特性値の長期予測を行うことに意味があるとは言い難い。

今後、バラツキを少なくする加工方法又は、バラツキの大きさよりもっと優勢な劣化指標等について考える必要がある。

3.6 屋外暴露試験と各種の促進試験との関係

ポリエステルFRP板の耐候性結果について、屋外暴露試験(銚子及び宮古島)と各種の促進試験(SW試験、XW試験及びSUV試験)との関係を求めるため、経時的な変化が顕著に現われた質量、光沢度及びシャルピー衝撃値の各保持率について、紫外線受光量(試験期間中

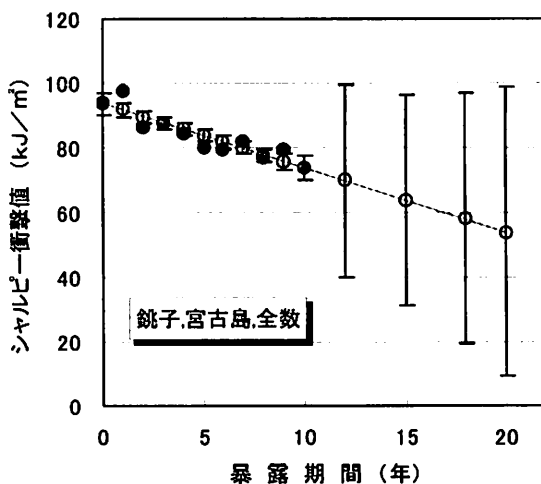


図35 屋外暴露試験によるシャルピー衝撃値の外挿予測及び信頼限界

の積算値) との関係を求め、図 36 及び図 37 に示す。

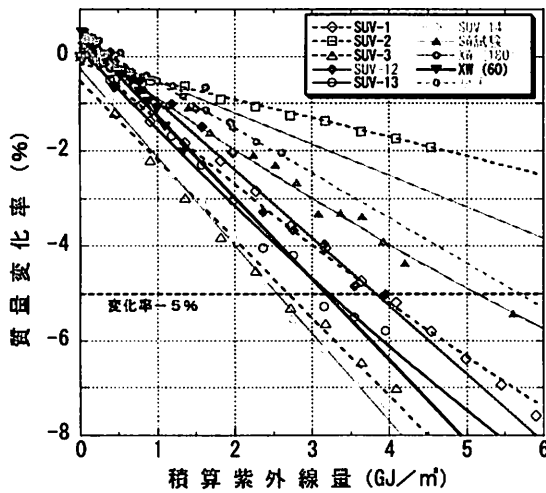


図36 屋外暴露試験と各種促進試験との比較
【ポリエステルFRP板の質量変化率】

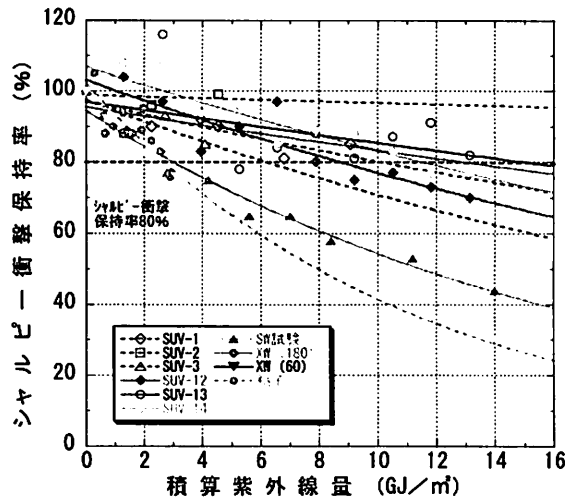


図37 屋外暴露試験と各種促進試験との比較
【ポリエステルFRP板のシャルピー衝撃保持率】

これらの関係から、銚子における屋外暴露試験結果を基準とした促進倍率を求めた結果、質量変化率及び光沢保持率では、SW試験及びXW試験が約 10 倍、SUV試験は条件によって異なるが約 48~175 倍の促進性を示したが、シャルピー衝撃保持率は、約 3~23 倍と表面変化に比べて促進性が低かった。

次に、質量変化率とシャルピー衝撃保持率との関係を求め図 38 に示す。この結果、試験方法の違いによって両者の関係の傾きは異なるが、一部の試験方法を除き、両者の相関関係は高く、特に、SW試験及びSUV-12試験は屋外暴露試験に近い変化を示した。

また、各種の促進試験と屋外暴露試験との表面変化の類似性を評価する方法として、色差と光沢保持率との関係を求めた結果、SW試験及びXW試験が屋外暴露試験とほぼ同傾向を示したが、SUV試験では色差の変化に比べ光沢保持率の変化が著しく低く現われ、この傾向は連続照射時間が長いほど顕著に現われた。

3. 7 まとめ

(1) ガラス繊維強化プラスチックの屋外暴露試験における耐候性評価方法を標準化するため、曲げ変形を与えた屋外暴露試験を行い、10 年間の耐候性データを取得し

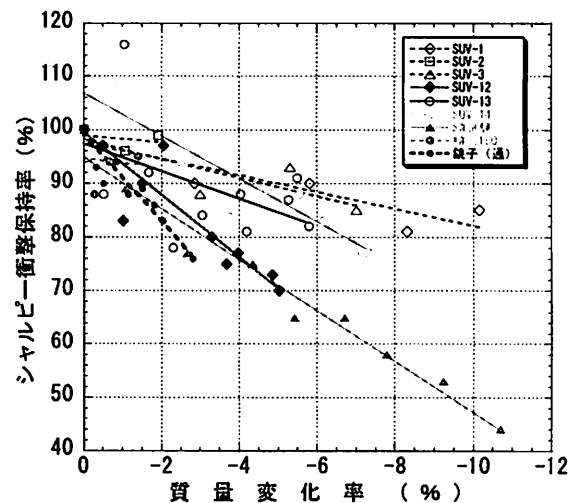


図38 各種の耐候性試験における質量変化率とシャルピー衝撃値との関係

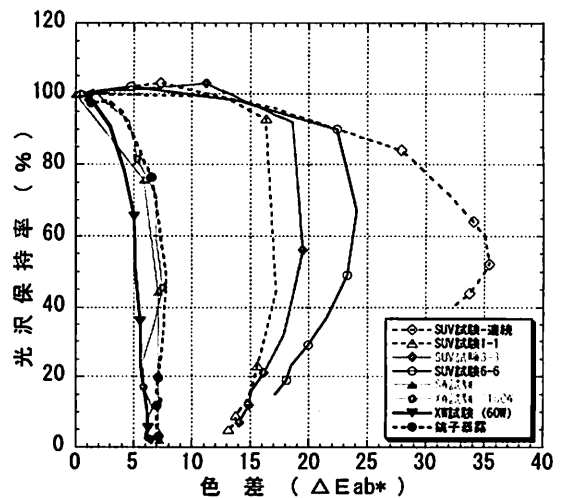


図39 各種の耐候性試験における色差と光沢保持率との関係

たが、試料間のバラツキ及び測定結果内（ $n=5$ ）のバラツキが大きく現われるため、経時的な変化傾向、地域差、暴露方法の違い等を明らかにすることが出来なかった。

- (2) 各種の促進試験における耐候性結果からは、SW試験 10,000 時間以上を行うことにより強度劣化が現われ、又、SUV試験では照射と暗黒結露（水噴霧を含む）サイクルを組み合わせ、宮古島における約 10 年相当分の紫外線受光量（約 3830MJ/m²）を照射する試験条件で強度劣化が得られた。
- (3) 本調査研究に用いたような試料の力学的特性を変化させる促進試験としては、JIS 規格に規定されている SW試験では 10,000 時間以上の試験が必要となり、XW試験では 6,000 時間の試験でも変化が現われなかった。このように、現在、JIS 規格に定められた促進試験機では時間及び費用等が著しくかかるため、更に促進性を高めた促進試験方法の開発が必要である。この一つの方法として、放射照度を強くすることのできる SUV試験が有効と考えられるが、この試験機は JIS 化されていないため試験条件も規定されていない、又、試験の初期段階で表面変化が屋外暴露試験と大きく異なる場合もあるため、屋外暴露試験との類似性を高めるための試験条件等の検討を行い標準化することが必要であろう。
- (4) 本調査研究結果から、ガラス繊維強化プラスチックの耐候性評価方法として、試料が小さく、簡単に評価しやすいシャルピー衝撃試験が有効と思われる。また、全ての試験を通じて質量変化率とシャルピー衝撃保持率の結果は、試験期間の経過に伴って減少する傾向が見出され、この両者の関係は試験方法によって傾きは異なるが、ほぼ直線的な関係にあることが分かったため、両者の関係を精度よく把握することにより、ガラス繊維強化プラスチック板の耐候性の評価が行えるものと思われる。
- (5) 屋外暴露試験と促進試験との表面変化の類似性を検討する方法として、色差と光沢保持率との関係を求めることにより評価できそうである。

4. おわりに

本報告は、(財)日本ウエザリングテストセンターが実施した旧通商産業省工業技術院委託の『新発電システムの標準化に関する調査研究』において、製品分科会の活動で得られた平成 14 年度成果の内容である。