

太陽電池の部材耐久性

—バックシート用PETフィルムに関する耐久性の検討と、耐久性向上手法・効果—

2014年12月12日

東レ株式会社

環境・エネルギー開発センター 太陽電池開発室

寺田 幹

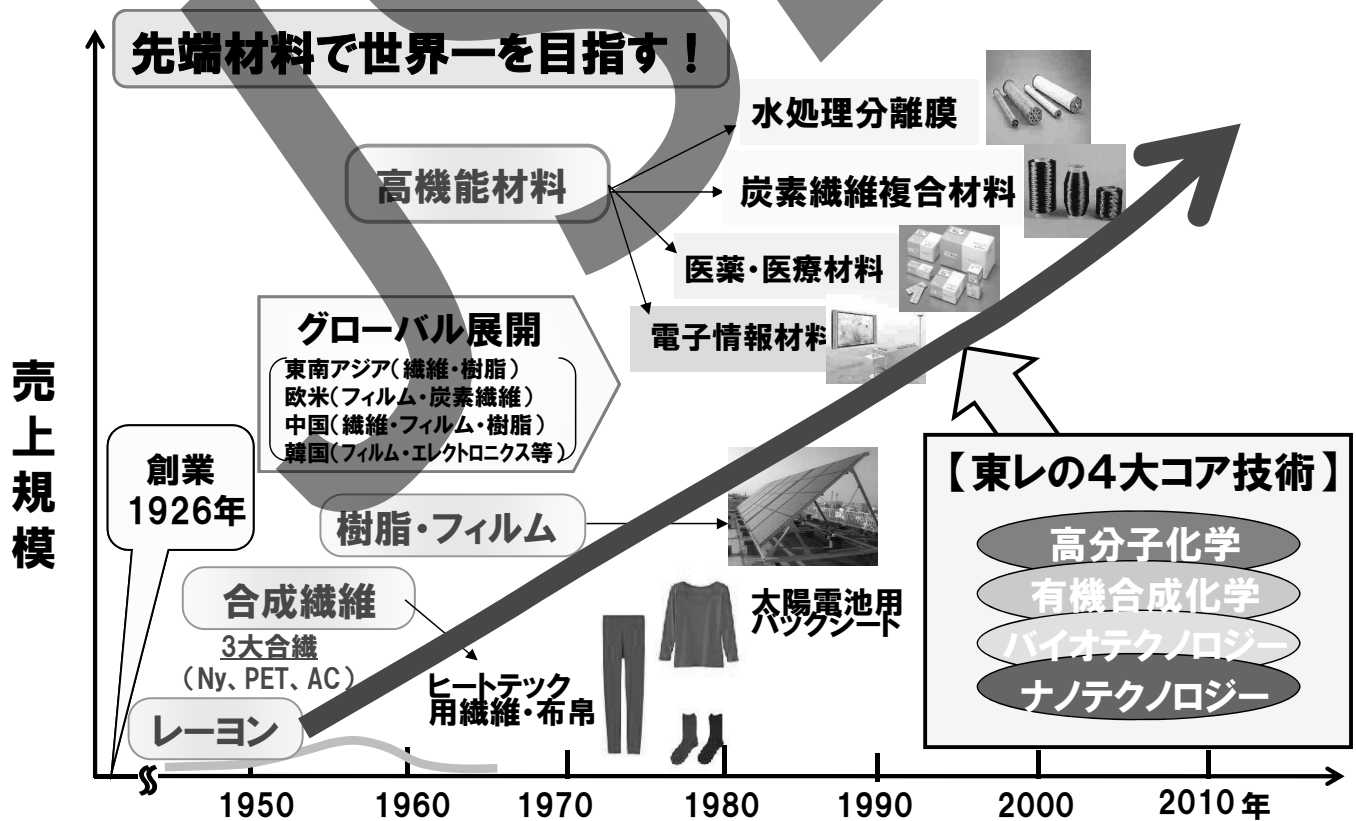
目次

1. 東レグループの概要と太陽電池関連の取り組み
3. バックシートについて
4. バックシート用PETフィルムの耐久性
5. PETフィルムの劣化モデル式
6. PETフィルムの耐UV性向上手法とその効果
7. バックシートの耐UV性評価に関する考え方
8. まとめ

東レの概要

会社名	東レ株式会社
本社所在地	日本 東京都中央区
創立	1926年1月
資本金	1,480億円(2014年3月末時点)
連結売上高	1兆8,378億円(2014年度)
従業員数	45,881名(2014年3月末時点)
子会社	198社(日本国内:88社、海外110社)
各事業の売上構成比	

東レグループの事業変遷

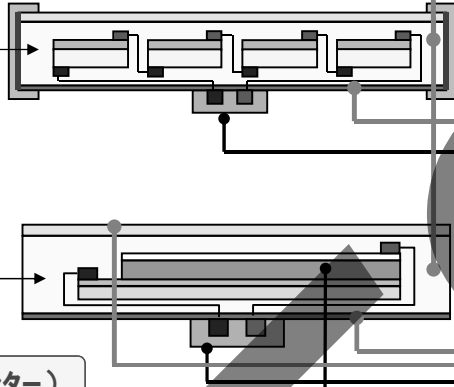


東レグループの太陽電池関連材料・部材・技術

結晶系Si太陽電池



電池の構成 (主要部材)



東レグループの関連材料・技術

封止材
(Toray Advanced Material Korea)

バックシート
・“ルミラー”PETフィルム(東レ)
・“ルミソーラー”バックシート
(東レフィルム加工)

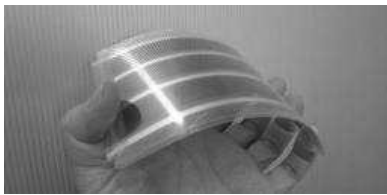
接続箱用樹脂(開発中)
・エンジニアリングプラスチック

ポッティング用樹脂・接着剤
(東レタウコーニング)

フロントシート
“トヨフロン”ETFE, FEPフィルム
(東レフィルム加工)

有機半導体(開発中)

フレキシブル太陽電池



分析・解析技術(東レリサーチセンター)

電池製造設備・システム・施工(東レエンジニアリング)

建設・企画・設計・施工(東レ建設)

東レグループのフィルム事業の拠点

- ① バックシートに使用されるPETフィルムをグローバルに展開、トップメーカーの地位確立
- ② 子会社の東レフィルム加工でバックシート事業を展開



- バックシート
- PP・PEフィルム
- PETフィルム

東レグループのバックシート関連の歴史

太陽光発電業界

東レグループ

1950年代

1970年代

1990年代

2000年代

1976年:日本で電卓向けに太陽電池の実用化

1990年代前半:日系太陽電池メーカーで脱フッ素系バックシートの気運が高まり、PET系の材料評価が進む

2000年代前半:日本の太陽電池生産量が世界シェアの大半を占める

1959年:PETフィルム“Lumirror”生産開始

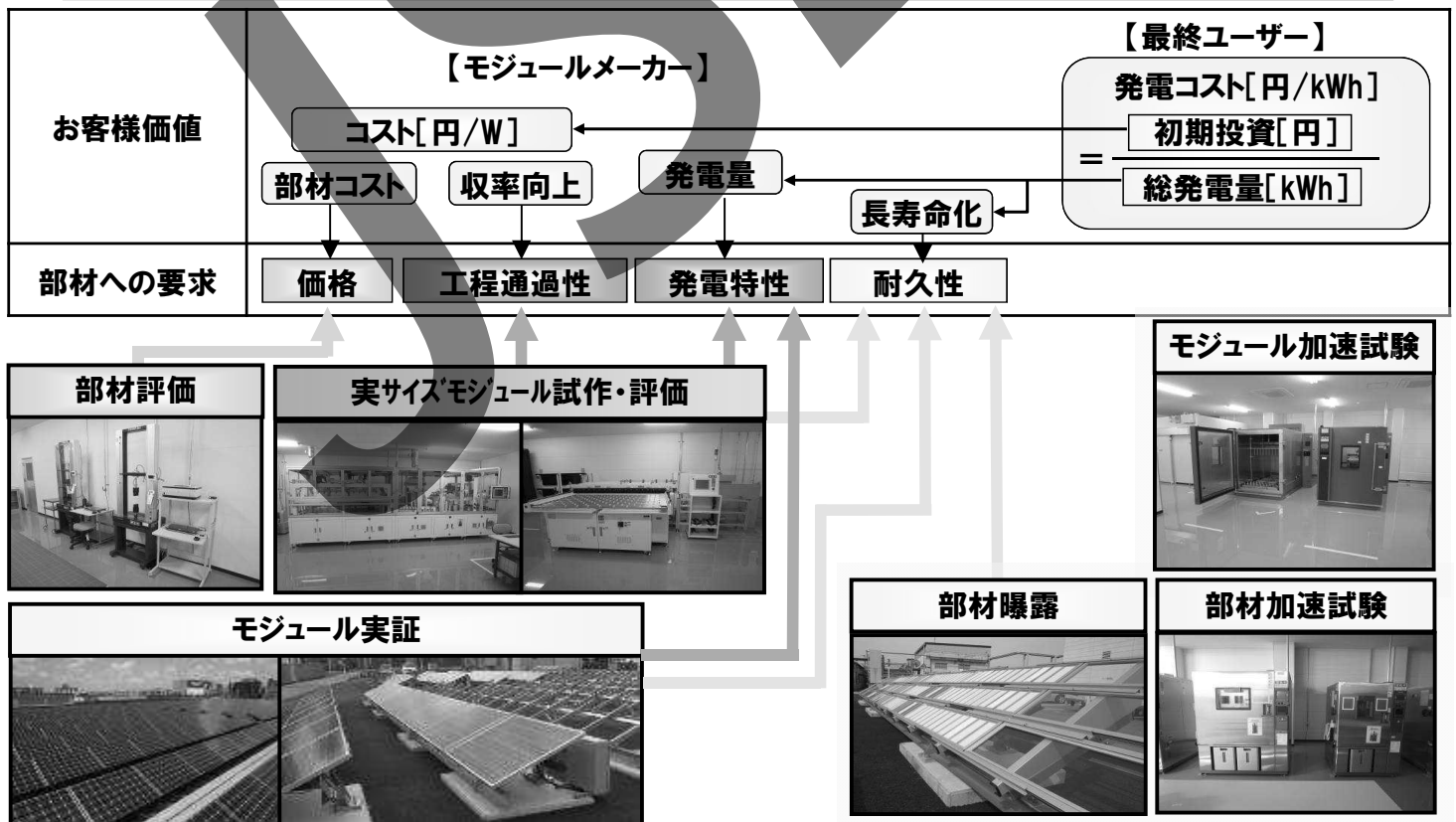
1990年代前半:日系大手からのバックシート用PETの開発要請を受け、長期耐久性を軸に、素材開発と評価を開始

1990年代後半:日系大手にてPET系仕様BS採用開始(各種の長期耐久性評価をクリア)。デファクト素材の地位確立

2004年:東レフィルム加工設立

2005年:PET系BS“Lumisolar”を開発、海外市場へのPET系BSのソリューション提案開始

お客様価値に結びつく材料開発の推進



太陽電池関連の開発・試作・評価・実証設備

1. 主な導入設備：

- ① 太陽電池モジュール試作評価設備
- ② 太陽電池発電実証設備 (120kW) + (40kW)

2. 活用目的：

開発部材の市場価値検証 (開発へのフィードバック)

A. モジュール試作評価設備



セル配線装置



真空ラミネーター

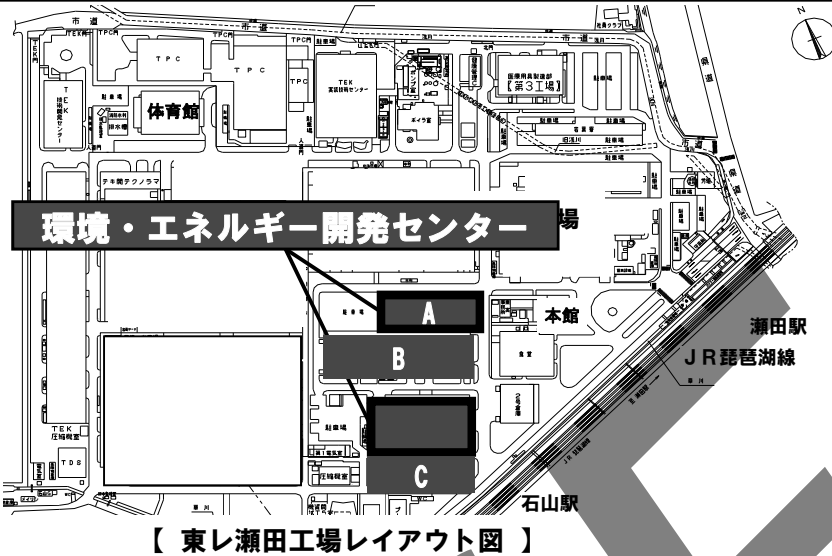
B. 発電実証設備 (120+40kW)



120kW設備 (屋根上設置)

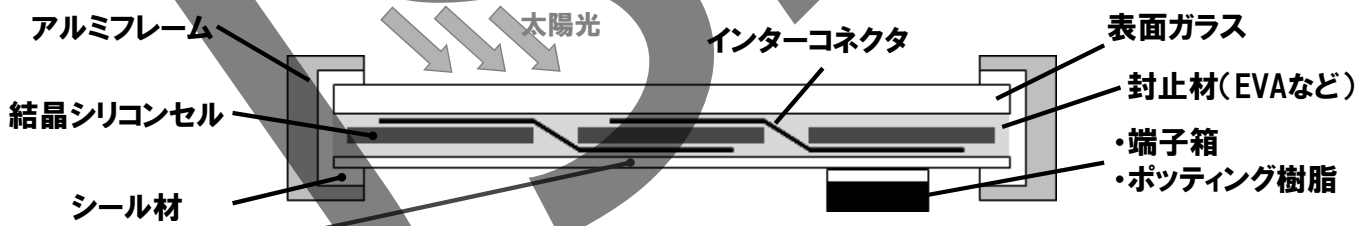


40kW設備 (地上設置)



バックシートについて

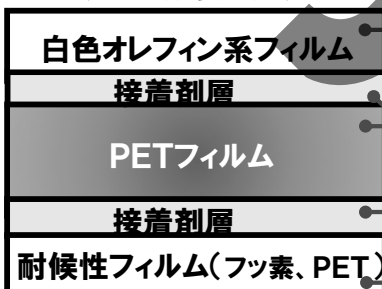
太陽電池バックシートの要求特性・機能



バックシート(BS)

【積層構成例】

(封止材接着面)

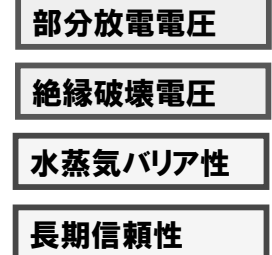


(外層面)

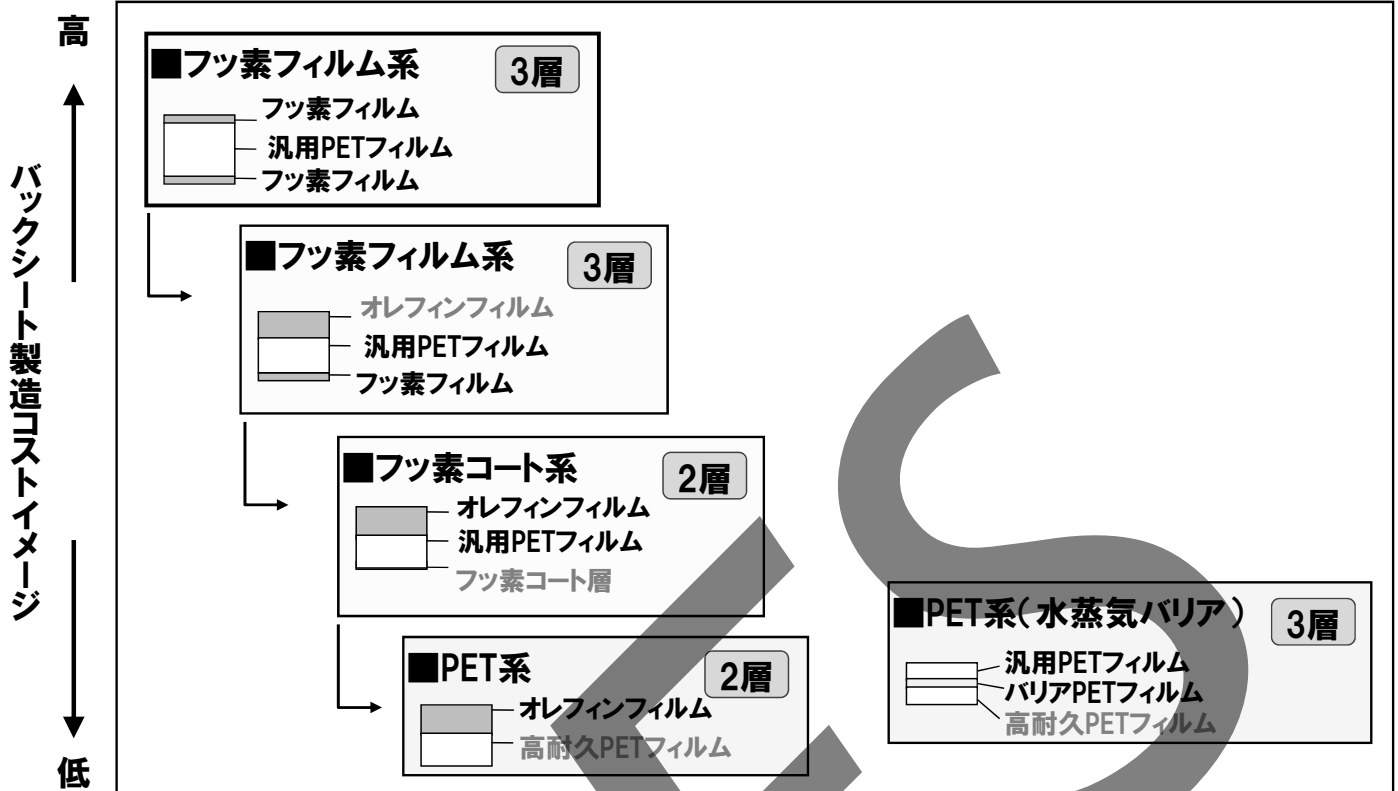
【各層が担う機能】



【構成全体で担う機能】



太陽電池バックシートの設計トレンド

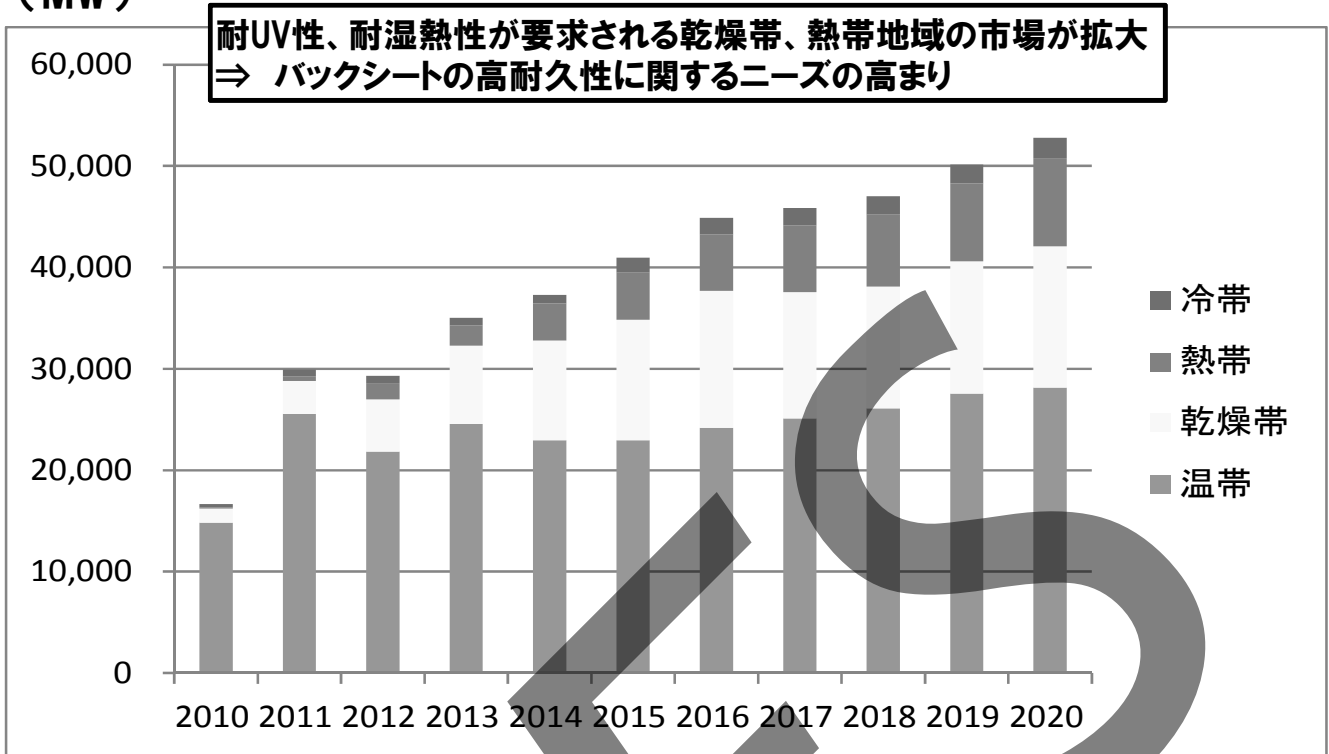


太陽電池バックシートの特性例

特性	ASTM, UL	IEC規格	単位	特性値
破断強度	ASTM-D882A	Draft	MPa	> 120
破断伸度	ASTM-D882A	Draft	%	> 60
熱収縮率 150deg. C X 30min.	ASTM-D1204	Draft	%	< 0.5
剥離強度 (BS/EVA)		Draft	N/mm	> 4
剥離強度 (層間)		Draft	N/mm	> 0.3
剥離強度 (J-Box)		Draft	N/mm	> 2
水分透過率	ASTM-F1249	Draft	g/m ² ・day	< 2.5
絶縁破壊電圧	ASTM-D150	Draft	kV	> 15
部分放電電圧 (最大システム電圧)		IEC61730 (IEC60664-1)	V	> 1000
難燃性	UL 94			VTM-2 or HB
UL温度インデックス(RTI)	UL 746B			RTI > 120°C
耐UV性	UL 746C	ISO 4892-2	—	1000 hr
耐湿熱性				85deg C 85%RH 1000 hr

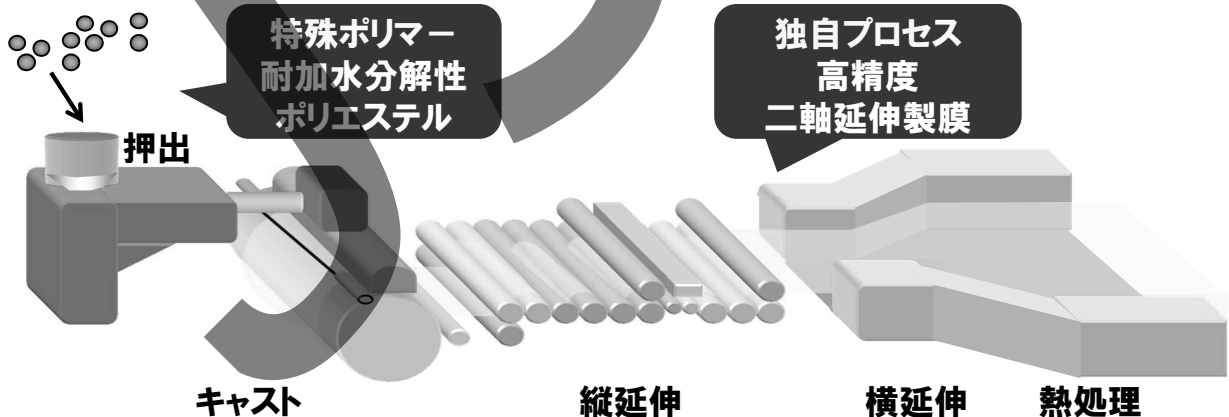
太陽電池の気候大別市場規模予測

(MW)



資源総合システム社予測(現状成長シナリオ)を元に、東レにて気候帯別を推定

東レの太陽電池用PETフィルムプロセス



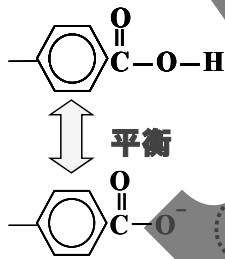
ポリマー技術・製膜プロセス技術を駆使し、高耐久性フィルムを開発・製造中

東レの太陽電池バックシート用PETフィルムマップ

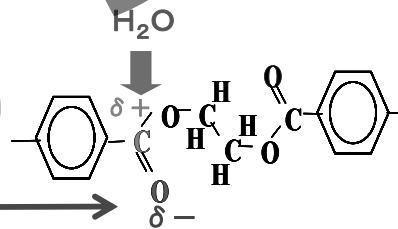
	透明品	白色品	黒色品	
汎用品	S10	E20F	X30	
耐久性向上品	X10S	MX11		
高耐久品	MX50	MX70	MX90 (漆黒) MX91 (標準)	量産品種 開発品種

PETの加水分解メカニズム

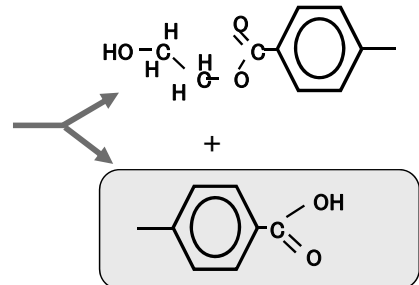
【カルボン酸末端基の解離】



【加水分解反応】

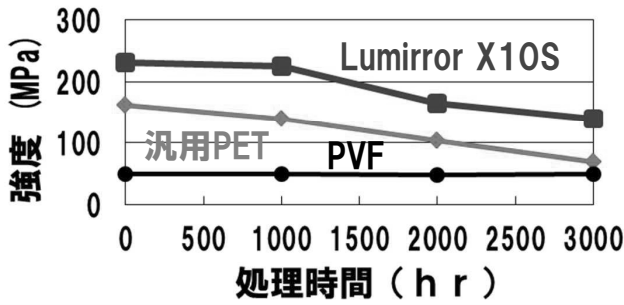


【新たな末端の生成】

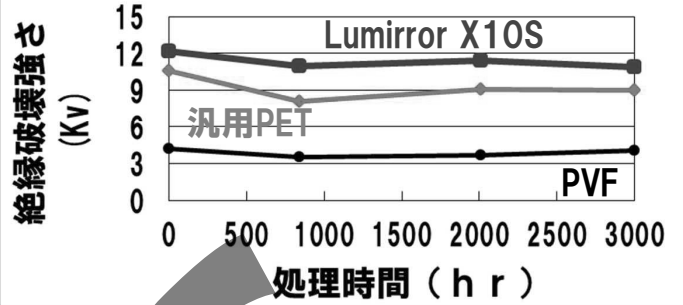


高耐久PETフィルム“ルミラー”X10Sの耐湿熱性(85°CX85%RH)

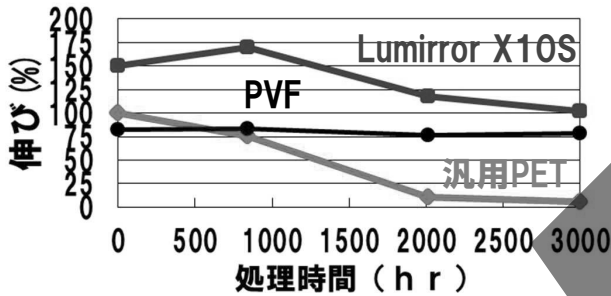
破断強度



絶縁破壊強さ



破断伸び

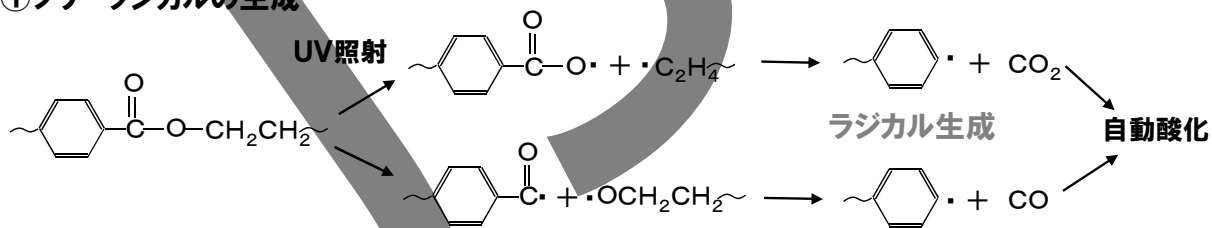


東レの高耐久PETフィルム Lumirror X10Sは、PVFフィルムおよび汎用PETフィルムと比較して、長時間の湿熱処理後も優れた機械・電気特性を示す。

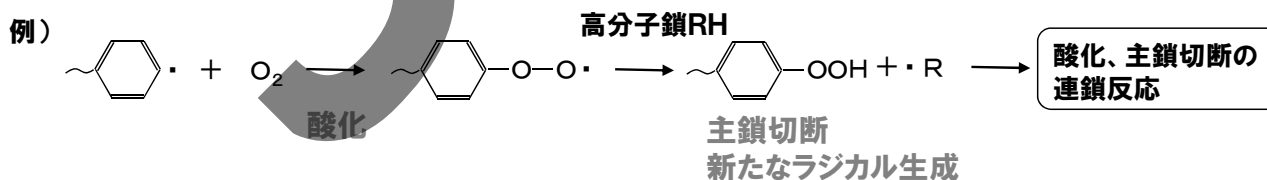
PETのUV劣化メカニズム

【Norrish I型】 ~ ラジカルの生成、自動酸化 ~

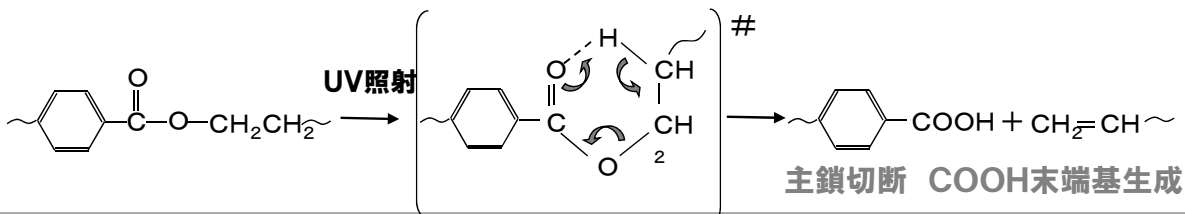
①フリーラジカルの生成



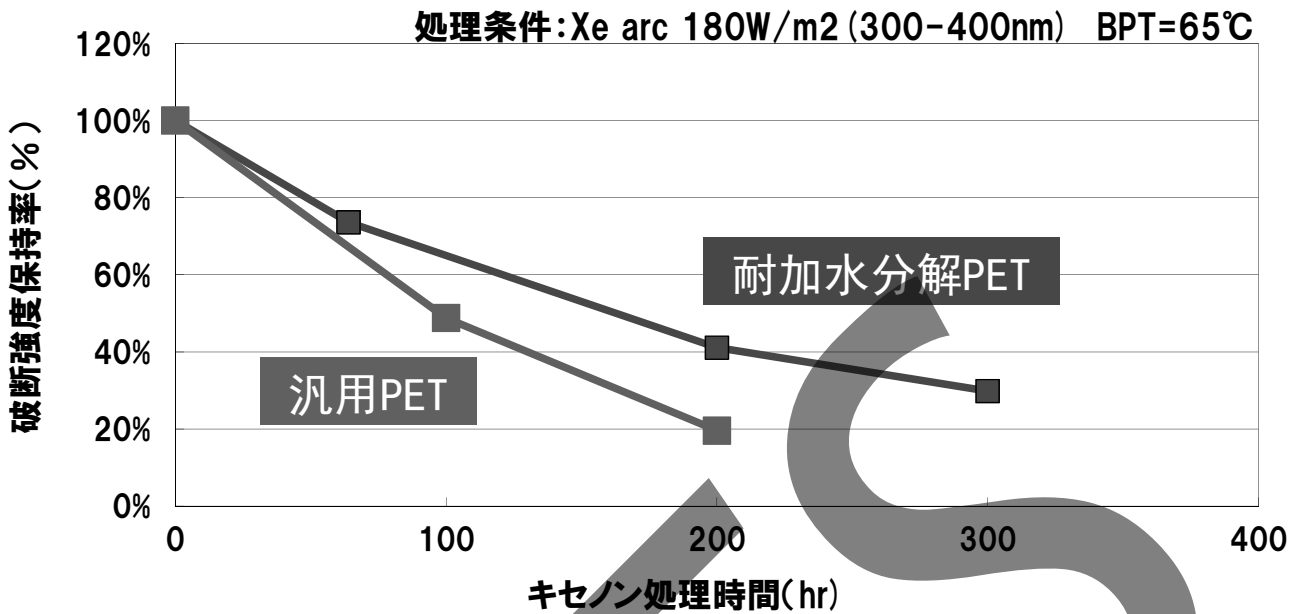
②酸化の連鎖反応(自動酸化)



【Norrish II型】 ~ COOH末端基の生成 ~



PETフィルムのUV劣化特性



➔ 耐紫外線老化性を向上させていないPETフィルムは、紫外線によって劣化するため、バックシートへの適用には適切な処方設定、あるいはコーティング技術が重要である。

PETフィルムの劣化モデル式

PETフィルムの屋外劣化についての検討 — 実験内容 —

1. PETフィルム

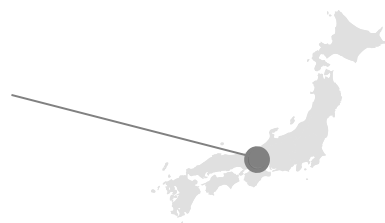
- ①PET A: 汎用PETフィルム (50 μm)
- ②PET B: 高耐湿熱性PETフィルム (50 μm)

2. 加速試験条件

	Sample temp.	Relative humidity	Irradiation intensity (300-400nm)
Xenon-arc lamp exposure	35, 50, 57°C	50%	23, 59, 180W/m ²
Metal halide lamp exposure	51°C	50%	1600W/m ²
Damp heat	110, 115°C	75, 85, 95%	None

3. 屋外曝露試験

実施場所: 滋賀県大津市(東レ 瀬田工場内)
 設置方向: 南向き
 設置角度: 35° 傾斜



UV照射の加速試験における課題

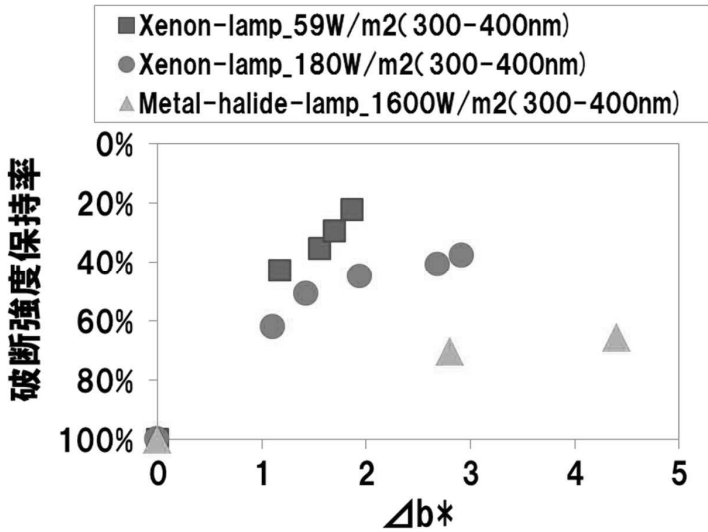


図. UV照射試験におけるΔbと強度保持率の関係

照射強度が変化した場合、変色と破断強度の関係が変化。

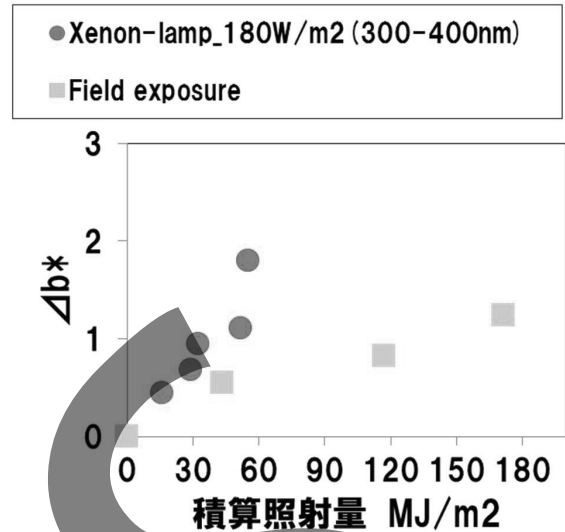


図. UV積算照射量とΔbの関係

積算照射量が同一でも特性が不一致で、加速試験から実曝露の予測不可。

劣化モデル式

$$y = k \cdot t + y_0, \ln(y_0/y) = -k \cdot t, \ln(1/y_0 - 1/y) = -k \cdot t \quad (1)$$

y : properties (i.e. b^* or tensile strength) k : the rate of change for properties t : time

$$k = f_{dh}(T, RH) + f_{uh}(T, I)$$

$$f_{dh} = A \cdot \exp\left(-\frac{E_{dh}}{K \cdot T}\right) \cdot (RH)^n \quad f_{uh} = D \cdot \exp\left(-\frac{E_{uh}}{K \cdot T}\right) \cdot (I)^\alpha$$

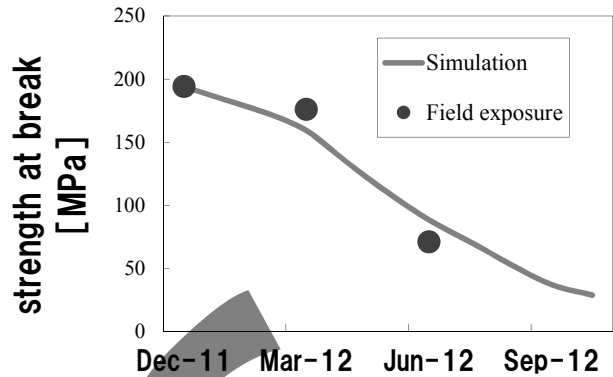
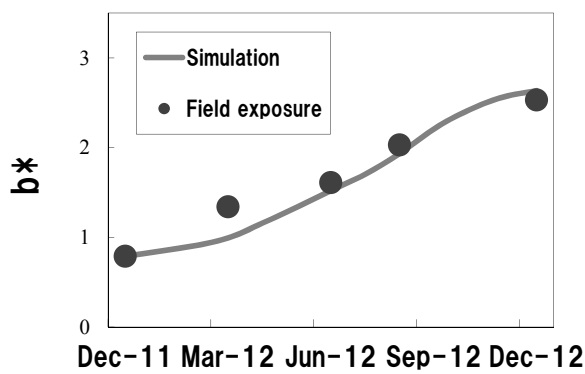
f_{dh} : the factor of heat and humidity for rate of change (2)
 f_{uh} : the factor of heat and UV intensity for rate of change

T : temperature RH : relative humidity K : gas constant

I : irradiation intensity A, D : frequency factor E_{dh}, E_{uh} : activation energy

n : exponential dependence on RH α : exponential dependence on I

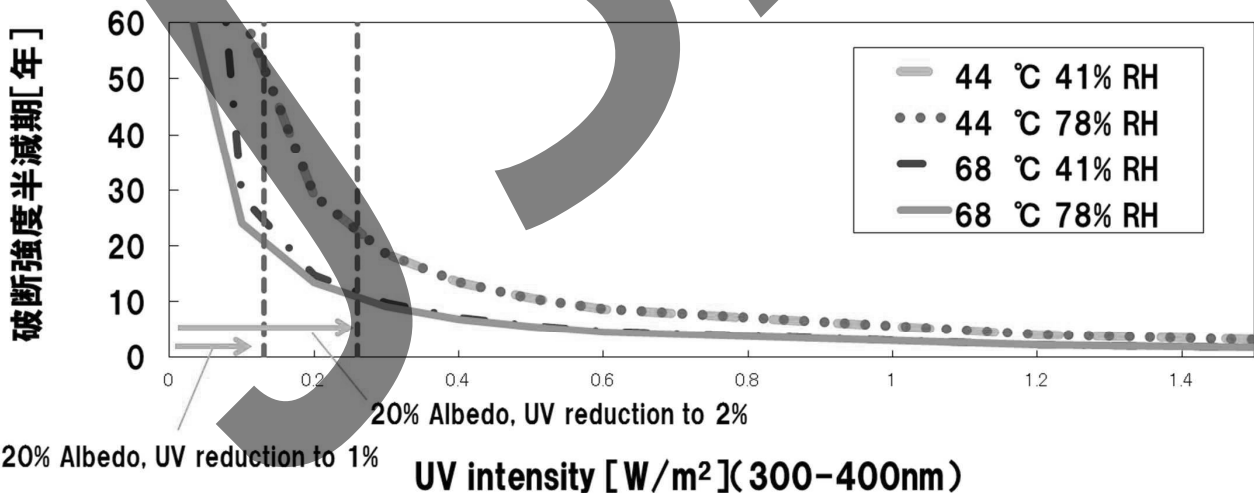
劣化モデルによるシミュレーション結果



前提条件:

- ①フィルム: PET A
- ②1日を昼と夜それぞれ12時間に分割。一ヶ月間、一定条件であると仮定。
- ③サンプル温度は、気温を使用する(フィルム単体試験であるため)。
- ④昼の気温・湿度は、その月における9-15時の平均気温・湿度を使用。
- ⑤夜の気温・湿度は、その月における21-3時の平均気温・湿度を使用。
- ⑥UV照射強度は、その月における平均照射強度を使用。

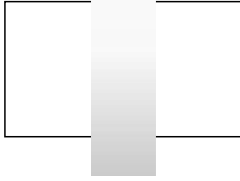
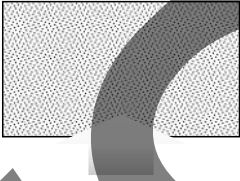
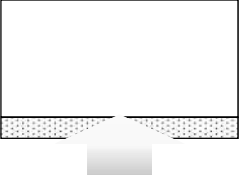
強度半減期と耐UV性PETフィルムに必要なUVカット率



前提条件:

- ①フィルム = PET B
- ②1日を昼と夜にわけ(12時間)、劣化は昼のみに起こると仮定
- ③平均/最大モジュール温度(8月の正午から午後3時) = 44/68°Cの実測値を使用
- ④最大の直射UV照射量 = 66W/m² → 20%反射を想定し13W/m²を使用

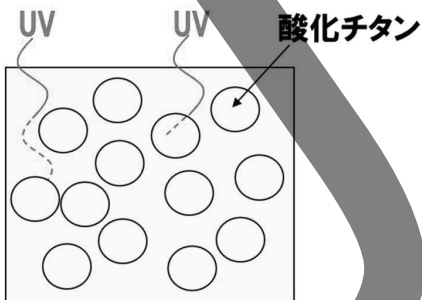
PETフィルムの耐UV性向上手法

PET種類	汎用	耐UV処方	耐UVコート
UV光との反応	UVをフィルム全体で吸収し、光酸化反応による劣化発生	無機顔料の添加によりPET内部への紫外線浸入を防止	フィルム表面に紫外線を遮断するコート層を持ち、PETへの紫外線浸入を防止
フィルムへの反射・散乱光浸入イメージ			
バックシート最外層への適用	×	○	○

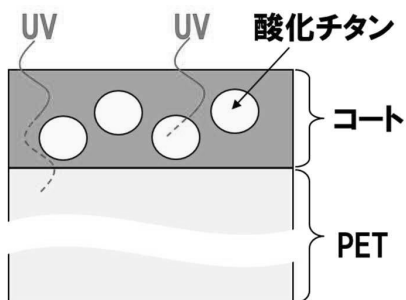
➔ PETフィルムでも適切な設計で耐紫外線老化性能を向上させ、太陽電池モジュールのバックシート最外層へ適用することが可能

PETフィルムの耐UV性向上手法の効果

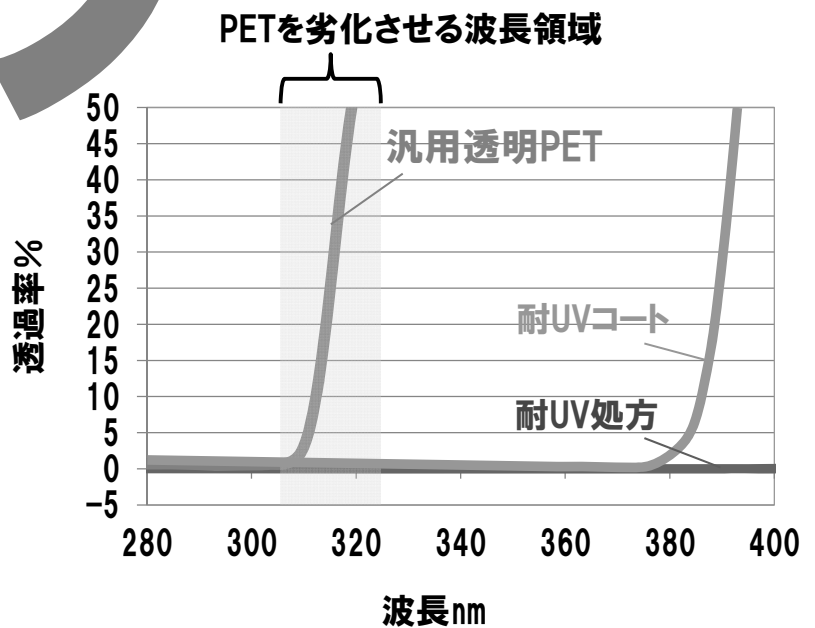
耐UV処方



耐UVコート



耐UV性向上手法の効果



東レの太陽電池バックシート用PETフィルムマップ

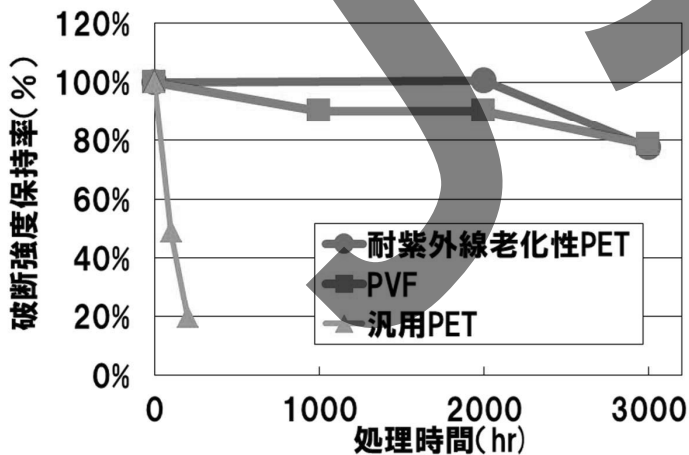
	透明品	白色品	黒色品
汎用品	S10	E20F	X30
耐久性向上品	X10S	MX11 耐UV処方 of 適用	
高耐久品	MX50	MX70	MX90 (漆黒) MX91 (標準)

量産品種

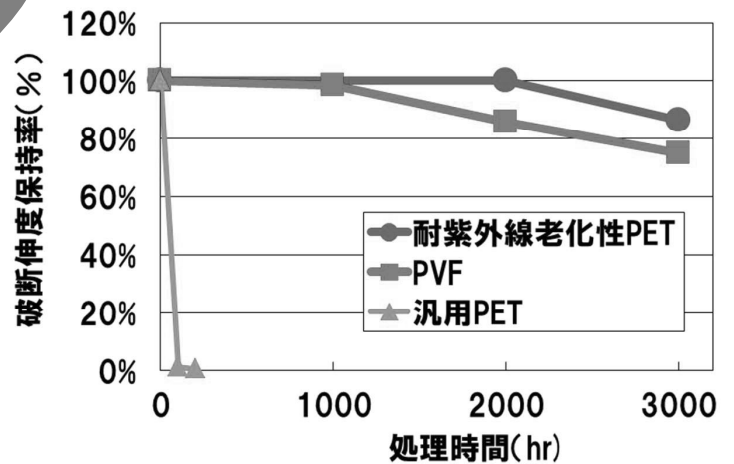
開発品種

“ルミラー”MX11 — 耐UV処方の効果 —

破断強度



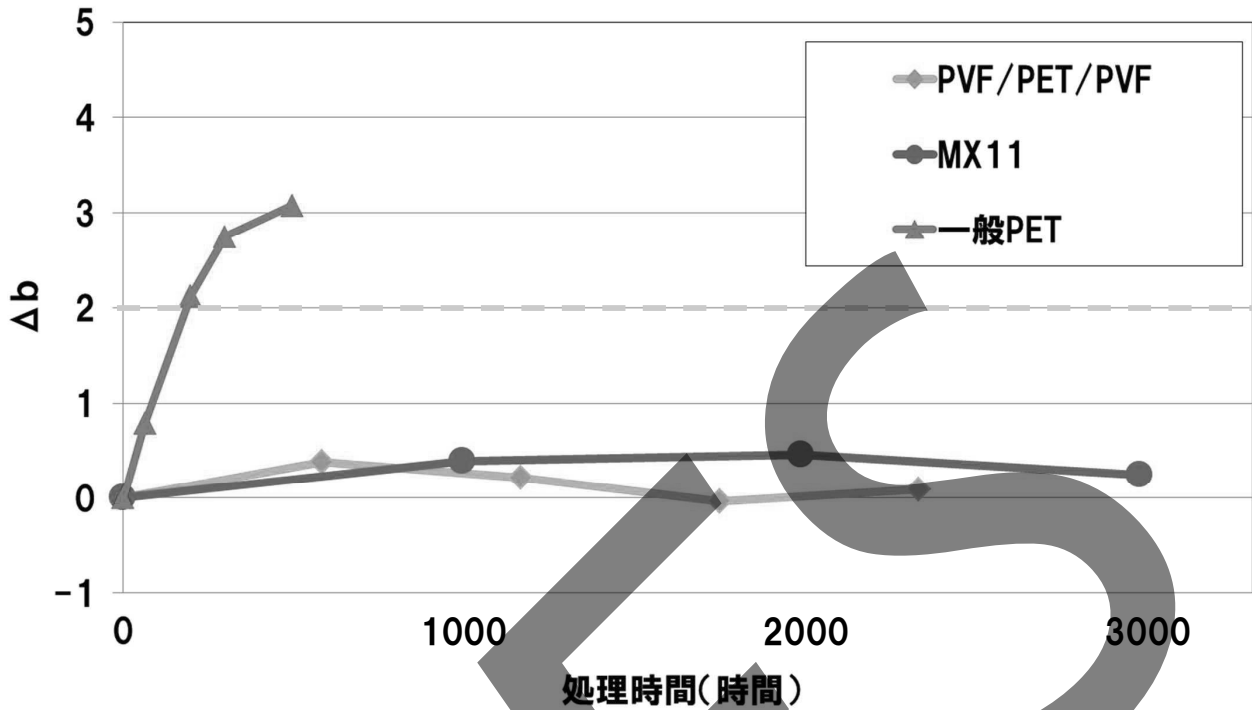
破断伸度



処理条件: Xe arc 180W/m² (300-400nm) BPT=65°C

“ルミラー”MX11 — 耐UV処方の効果 —

変色(Δb)



“ルミラー”MX11の特性

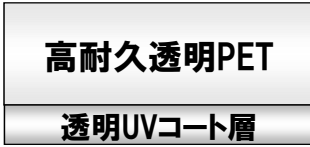
項目			50N MX11	75N MX11	125N MX11
厚み	MMV	μm	51.2	74.2	124.0
	破断強度	MD MPa	235	212	193
破断強度	TD	MPa	240	213	213
	破断伸度	MD %	128	107	121
TD		%	129	117	112
熱収縮率 (150℃×30分)	MD	%	1.5	1.7	1.5
	TD	%	0.3	0.0	0.3
光学濃度	-	-	0.53	0.65	0.81
白色度(耐UV面)	-	%	93.0	96.0	97.2
B値(耐UV面)	-	-	-4.0	-2.9	-2.0
絶縁破壊電圧 (AC・シート)	Ave.	kV	10.9	13.6	19.2

“ルミラー”MX50U1 - 耐UVコートの適用事例と効果 -

独自ポリマー設計技術とフィルム精密構造制御技術を融合させた高耐久透明PETに耐UVコートを適用

特徴

- 透明 ●高耐UV ●高耐湿熱
- 高耐熱

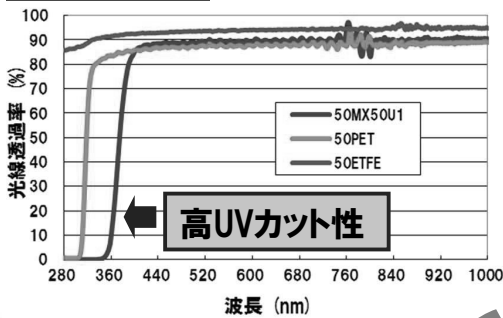


代表物性

項目	単位	方向	50MX50U1	50PET	50ETFE
破断強度	MPa	MD	229	248	80
破断伸度	%	MD	145	143	420
全光線透過率	%	—	89.1	87.5	94.2
ヘイズ	%	—	7.4	6.0	2.7
塗膜密着性 (残マス数/100)	—	—	100	—	—
熱収縮率 (150℃-30分)	%	MD	1.4	1.7	0.7
	%	TD	0.6	0.5	2.3

フィルム厚み: 50µm

光線透過率



耐UV性(外観変化)

サンプル	SUV積算照射量 (kWh/m ² @300-400nm)				
	0	160	320	480*	640
50MX50U1					
50PET					
50ETFE					

※サンプル裏面に白厚紙を置いて撮影

* 480kWh/m²=直射5年相当

高耐UV性
色調変化
ΔE ≤ 2

バックシートの耐UV性評価に関する考え方

バックシートのUV劣化によるモジュールへの影響

バックシートのUV劣化で、何が起こると、太陽電池モジュールの安全性、発電性能を損なうか？

- ① ガラス/封止材/背板構造をガラス側から見たときの反射率の低下 ⇒ 発電性能
- ② バックシートのクラック、バックシート/封止材の剥離による絶縁性低下 ⇒ 安全性

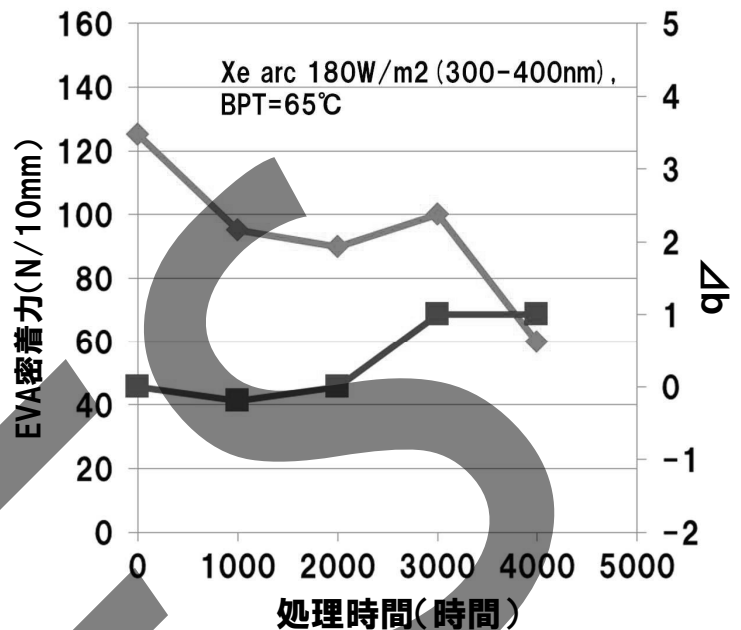
評価のポイント

- ① 太陽光側からのUV試験: 照射方法=ガラス/封止材/バックシート構成で照射
評価項目=反射率・変色、バックシート/封止材接着強度
- ② 裏面側からのUV試験: 照射方法=バックシートへの直接照射
評価項目=機械強度(破断強度・破断伸度)

バックシートの太陽光側の耐UV性評価の考え方(案)

1. 太陽光側の耐UV性はガラス／封止材／バックシートの構成でラミネートしたサンプルでの評価が好適
2. バックシートへの直接照射は適切でないと考えられる理由
 - ①実環境との差異大(部材表面の酸素との接触有無、照射強度)
 - ②モジュールの安全性に関わる「封止材とバックシートの接着力」が確認不可
 - ③封止材／バックシートの相互反応の可能性

左記方法でのPET系バックシートの評価例：
4000h処理後 $\Delta b \approx 1$, EVA接着力 $> 60\text{N}/10\text{mm}$



まとめ

1. PETフィルム劣化モデル式の提案

- ①実曝露と相関がある加速試験の提案は、重要な課題であると認識されているものの、現時点で有効な解が得られていないのが実情である。
- ②そこで、バックシート用PETフィルムについて、実曝露による劣化状態を予測するためのモデル式を検討し、同モデルを用いたシミュレーションは、実曝露と比較的良好な一致が得られることを確認した。

2. PETフィルムの耐UV性向上手法と効果

PETフィルムへの耐UV処方や耐UVコートの適用によって、バックシートへ適用可能なレベルの耐UV性能が発現することを確認した。

3. バックシートの耐UV性の評価方法について、考察と提案を行った。

'TORAY'

Innovation by Chemistry

JSES