

## 日本と東南アジア諸国での高分子材料の暴露試験

(財) 日本ウレザリング株式会社 高根 由充

### 1. はじめに

屋外で使用される高分子製品の使用可能な期間は使用される場所の環境によって左右される。高分子製品は紫外線量が豊富で気温の高い地域での劣化が大きいことは知られている。今回、暴露場所による劣化速度の違いを把握する目的で汎用性樹脂を使用して日本国内と東南アジア諸国での環境の異なる5ヵ所での暴露試験を行った結果<sup>1)2)</sup>について報告する。

### 2. 試験方法

2.1 試料 試料は汎用性と暴露可能な期間を勘案して以下の試料を用いた。表1に試料の種類を示す。

表1 試料の種類

種類	記号	仕様	厚さ(mm)
低密度ポリエチレンシート	PE-A	耐候安定剤なし	2.0
	PE-B	ベンゾフェノン系紫外線吸収剤、ヒンダードアミン系光安定剤、ヒンダードフェノール系酸化防止剤	2.0
軟質ポリ塩化ビニルシート	PVC-A	可塑剤 (DOP 主体)	2.0
	PVC-B	可塑剤 (DOP 主体)、BaZn 系安定剤	2.0
ポリカーボネートシート	PC-A	紫外線吸収剤なし、叔アイト系熱安定剤	2.0
	PC-B	ベンゾトリアゾール系紫外線吸収剤、叔アイト系熱安定剤	2.0
高密度ポリエチレンフィルム	PE-F	JIS K 7200	0.2
硬質ポリ塩化ビニルフィルム	PVC-F	耐候安定剤なし	0.2
ポリカーボネートフィルム	PC-F	耐候安定剤なし	0.2
ポリエチレンテレフタレートフィルム	PET-F	耐候安定剤なし	0.3
ポリスチレンシート	PS-S	耐候安定剤なし	1.3

2.2 屋外暴露試験 暴露場所を表2に示す。暴露期間は1996年12月から1998年3月の15か月である。

表2 暴露試験実施場所

場所	緯度	暴露角度
銚子	北緯 35 度 43 分	南面 30 度
宮古島	北緯 24 度 44 分	南面 20 度
フィリピン・マニラ	北緯 14 度 29 分	南面 5 度
タイ・バンコク	北緯 13 度 51 分	南面 5 度
インドネシア・バンドン	南緯 6 度 54 分	5 度*1)

備考1) 11月から2月まで南面、3月から10月まで北面

2.3 測定方法 表3に測定項目を示す。

表3 測定項目

記号	測定項目	記号	測定項目
PE-A	色差、光沢、引張特性	PE-F	赤外分光*1)
PE-B	色差、光沢、引張特性	PVC-F	紫外分光*2)、色差、光沢
PVC-A	色差、光沢、引張特性	PC-F	紫外分光*3)、色差、光沢
PVC-B	色差、光沢、引張特性	PET-F	紫外分光*4)、色差、光沢
PC-A	色差、光沢	PS-S	紫外分光*5)、色差、光沢
PC-B	色差、光沢		

備考1) PE-F JIS K 7200 による加算値を求めた。

2) PVC-F 270nm の吸光度を求め暴露前との差を計算した。

3) PC-F 290nm の吸光度を求め暴露前との差を計算した。

4) PET-F 330nm の吸光度を求め暴露前との差を計算した。

5) PS-S 340nm の吸光度を求め暴露前との差を計算した。

### 3. 試験結果

#### 3. 1シート試料

##### 3. 1. 1色差

15か月までの色差の変化を図1～図3に示す。

(1) PE PE-Aの色差は日本では暴露後わずかに変化した後には大きな変化を示さないが、東南アジア各国ではほぼ直線的に増加した。12か月目での値は3か国ともほぼ同じ値 ( $\Delta E=7$ ) を示した。

PE-Bの色差はPE-Aと大きな差はなかった。

(2) PVC PVC-Aの色差は時間の経過によってうすい茶色に変色し、銚子、宮古島、マニラでは12か月で $\Delta E$ が8となった。バンコクでは一番大きな変化を示し ( $\Delta E=約17$ )、次いでバンドン ( $\Delta E=約13$ ) の順となった。

PVC-Bの色差は日本とマニラでは12か月まで直線的に増加し、その程度はPVC-Aよりも小さい。バンコクとバンドンでは12か月で可塑剤の溶出により表面にベタツキが発生し、付着した汚れにより色差は大きくなった。

(3) PC PC-Aの色差は各国ともほぼ直線的に黄変度が増加し、その程度は銚子 (12か月で $\Delta E=約13$ ) <宮古島=マニラ<バンドン<バンコク ( $\Delta E=約25$ ) の順となった。

PC-Bの色差は日本ではほぼ直線的に増加したが、東南アジア各国では6か月以降の増加速度が大きくなった。しかし、その値はPE-Aより小さい。

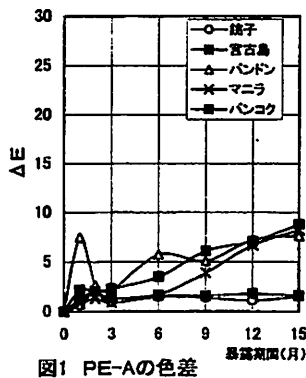


図1 PE-Aの色差

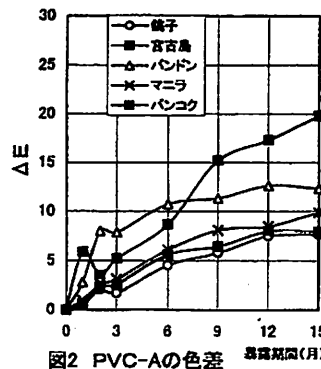


図2 PVC-Aの色差

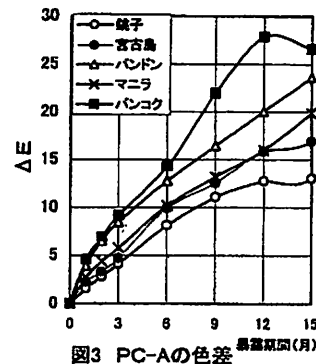


図3 PC-Aの色差

##### 3. 1. 2光沢

15か月までの光沢の変化を図4～図6に示す。

(1) PE PE-Aの光沢は日本とバンドンはわずかな減少傾向を示したが、バンコクとマニラでは直線的に大きく低下した (12か月で保持率が20～30%)。

PE-Bの光沢は日本とバンドンは12か月まで変化がなかったが、マニラではわずかな低下傾向、バンコクでは6か月では変化がなかったが、12か月で大きく低下した (保持率が55%)。

(2) PVC PVC-Aの光沢は銚子で6か月以降、宮古島では9か月以降わずかに低下する傾向を示した。マニラはほぼ直線的に低下した (12か月で保持率が68%)。バンドンは6か月までは変化がなかったが、9か月以降は大きく低下した (12か月で保持率が52%)。又、バンコクでは3か月までは大きな低下はなかったが、6か月で大きく低下し、その後も低下傾向にあった (12か月で保持率が40%)。

PVC-Bの光沢は日本とマニラではわずかな低下傾向であり、PVC-Aとの差もあまりない。バンドンとバンコクでは6か月までは変化がなかったが、12か月で可塑剤の溶出によるベタツキから、表面にゴミが付着し大きく光沢度が低下した。

(3) PC PC-Aの光沢は各国とも6か月以降に変化する傾向を示し、その程度は銚子 (12か月の保持率で92%) <宮古島<バンドン<バンコク<マニラ (12か月の保持率で54%) となった。

PC-Bの光沢もPC-Aとほぼ同じ傾向を示した。

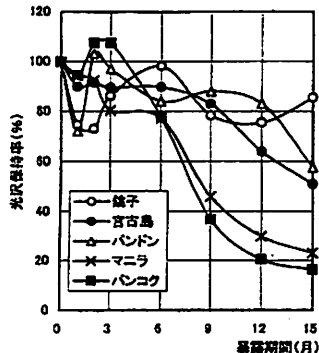


図4 PE-Aの光沢保持率

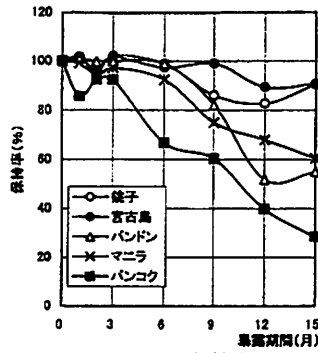


図5 PVC-Aの光沢保持率

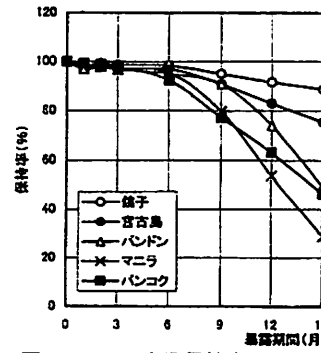


図6 PC-Aの光沢保持率

### 3. 1. 2引張特性

15か月までの引張特性の変化を図7～図10に示す。

(1) PE PE-Aの降伏強さは日本とバンドンでは12か月まで初期値よりやや増加する傾向を示した。マニラでは12か月で低下、バンコクでは9か月以降は降伏点前で破断するようになった。

破断強さはほぼ直線的に低下し、バンコクの変化が大きく(12か月の保持率が45%)、バンドンは比較的变化が少ない。

破断伸びは3か月まではやや増加したが、以降は大きく低下した。6か月までの変化では銚子<宮古島=バンドン<バンコク=マニラとなる。

PE-Bの降伏強さ、破断強さ及び破断伸びは12か月でも大きな変化はない。

(2) PVC PVC-Aの一定歪み時応力は暴露後やや増加した。破断強さは12か月でもほぼ初期値と同程度である。破断伸びは12か月でわずかに低下した程度であった。

PVC-Bの引張特性もPVC-Aとほぼ同様である。

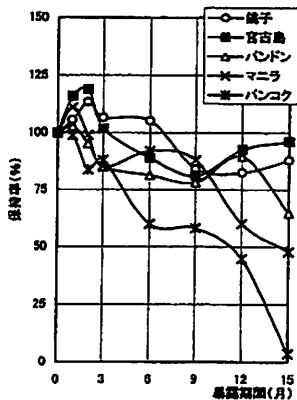


図7 PE-Aの引張り破断強さ

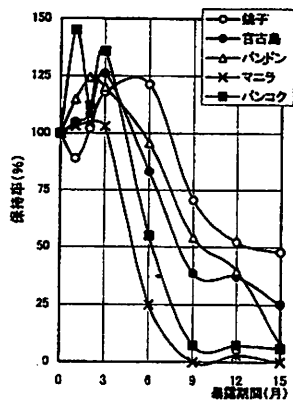


図8 PE-Aの引張り破断伸び

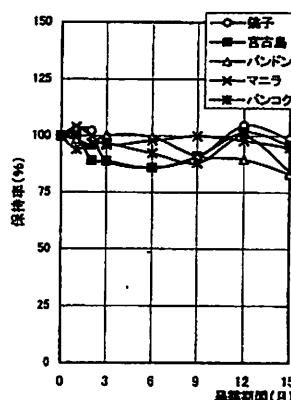


図9 PVC-Aの引張り破断強さ

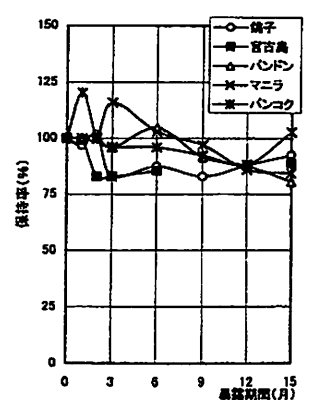


図10 PVC-Aの引張り破断伸び

### 3. 2フィルム試料

#### 3. 2. 1色差

15か月までの色差の変化を図11～図13に示す。

(1) PC-F 各国ともほぼ直線的に黄変度が増加した。その程度は東南アジア諸国では差がなく次いで宮古島、銚子となる。

(2) PET-F バンコクを除き各地とも少ない。バンコクの試料の色差は汚れによるものと思われる。

(3) PS-S 各国ともほぼ直線的に黄変度が増加した。その程度は東南アジア諸国では差がなく次いで宮古島、銚子となる。

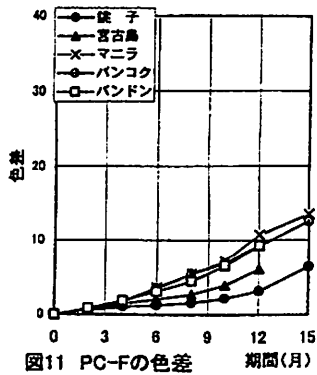


図11 PC-Fの色差 期間(月)

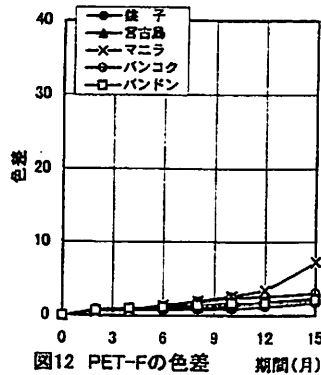


図12 PET-Fの色差 期間(月)

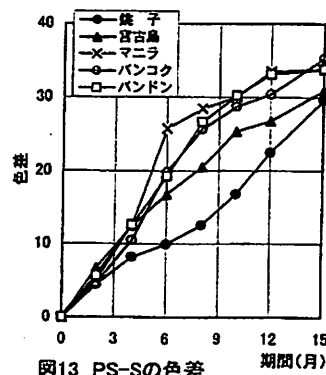


図13 PS-Sの色差 期間(月)

### 3. 2. 2 光沢

15か月までの光沢の変化を図14～図16に示す。

(1) PC-F 東南アジア諸国では6か月から8か月以降低下しはじめ、12か月での保持率が60～70%であった。宮古島と銚子は1年以降に変化が見られる。

(2) PET-F 東南アジア諸国ではバンドンの低下が比較的少なく、12か月での保持率は80%、バンコクとマニラでは60～65%であった。

(3) PS-S 東南アジア諸国では4か月以降は大きく低下し地域差が見られた。

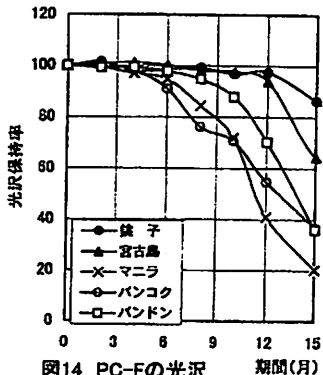


図14 PC-Fの光沢 期間(月)

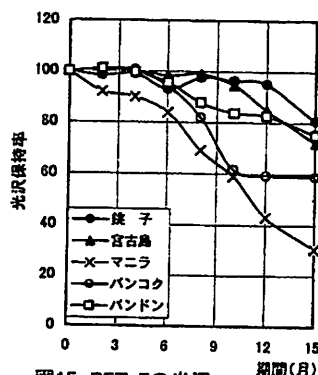


図15 PET-Fの光沢 期間(月)

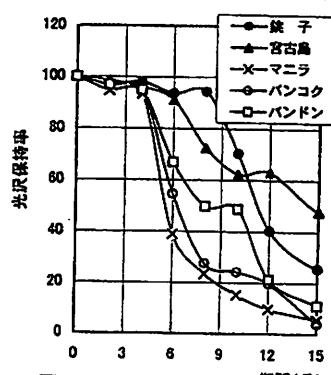


図16 PS-Sの光沢 期間(月)

### 3. 2. 3 分光特性

各フィルムの1か月毎の暴露を繰り返した。PE-Fのカルボニルインデックスの変化を図17に示す。日本では宮古島、銚子とも冬期に低く、夏期に高くなる傾向がある。バンドンは年間を通しての変動が少なく、日本の夏期よりやや少ない程度である。バンコクとマニラは4月、5月の値が大きい。又、カルボニルインデックスが最も少ない季節でも日本の夏期と同じ程度を示す。

積算した場合は日本では夏期と冬期の変化速度の差が見られるが、バンドンはほぼ直線的、バンコクとマニラでは変化速度が大きい季節は気温の高い時期に対応している。

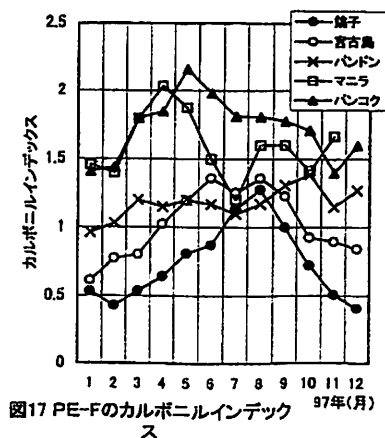


図17 PE-Fのカルボニルインデックス 97年(月)

### 3. 3 気象因子データ

暴露15か月までの気象因子の観測結果を表4及び図18～図20に示す。

表4 気象観測データ(97年)

項目	銚子	宮古島	マニラ	バンドン	バンコク
平均気温(°C)	14.9	22.9	25.3	23.5	28.5
平均湿度(%)	77	76	74	74	67
雨量(mm)	1242.5	1630.0	857	1112.7	850.1
日射量(MJ/m <sup>2</sup> )	4655.28	5081.28	-	6661	5929

備考 1) マニラは6月欠測

#### 3. 3. 1 気温

各地の1997年の平均気温を図に示す。銚子(14.9°C) < 宮古島(22.9°C) < バンドン(23.5°C) < マニラ(25.3°C) < バンコク(28.5°C)の順となった。又、毎月の最高気温と最低気温の差をみると、年間の平均で最も差の大きいのはバンドンで最も少ないのは宮古島であった。これはバンドンは標高が700mあること、宮古島は海洋性の気候であることと思われる。較差の順は宮古島(5.2°C) < マニラ(7.2°C) < バンコク(7.6°C) < 銚子(8.4°C) < バンドン(11.2°C)となる。

#### 3. 3. 2 湿度

各地の1997年の平均湿度は銚子が最も高く77%、宮古島が76%、マニラ、バンドンが74%、バンコクが最も低く67%であった。

又、各地の季節変化は銚子と宮古島は気温の変化とほぼ同様であるが、バンドンは12月から5月が比較的高く、6月から11月は低い。マニラは7月から10月が比較的高い。バンコクは年間を通してあまり変動がなかった。

#### 3. 3. 3 雨量

各地の1997年の総雨量は銚子1242.5mm、宮古島1630.0mm、マニラ857.0mm(6月を除く)、バンドン1112.7mm、バンコク850.1mmであった。

日本では年間を通して降雨があるのに対して、東南アジアでは明確な雨期と乾期があり、マニラでは11月頃から4月頃が乾期、5月頃から8月頃が雨期、バンコクでは11月頃から2月頃が乾期、夏から秋が雨期であるのに対してバンドンではこれとは逆に12月から5月頃が雨期、6月から11月頃は乾期のようなのである。又、雨の降り方も日本とは異なり、一日の一定時刻に集中的に降り、その後は晴れるようなことを繰り返すため、雨期でも日射量が多い。

#### 3. 3. 4 日射量

各地の1997年の日射量を図に示す。総量は銚子4655.28MJ、宮古島5081.28MJ、バンドン6661.05MJ、バンコク5929.28MJであった。(マニラはデータなし) 日本では夏期に多く、冬期に少ないが、バンコクでは気温が高い乾期の4月、5月に日射量が多く、バンドンでは湿度の低い乾期の8月から10月が多かった。銚子を1とする比率は宮古島1.1、バンドン1.4、バンコク1.3となる。

#### 3. 3. 5 大気汚染物質

測定年が異なるがバンコクと銚子の硫黄酸化物量のデータを図に示す。バンコクでは交通量の増大、発展途上国特有の事情等によりかなり多い。又、降下煤塵の定量的なデータはないが東南アジア諸国での暴露試験片は表面に塵埃の付着が多く、1か月毎に暴露したフィルム試料は紫外線を遮断されることが懸念されたので定期的な洗浄を依頼した。

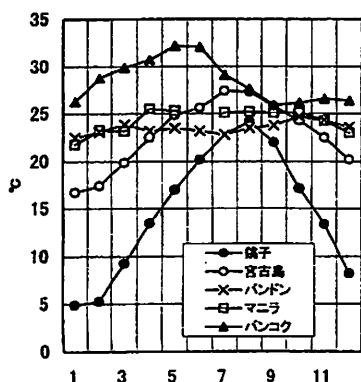


図18 各地の平均気温 97年(月)

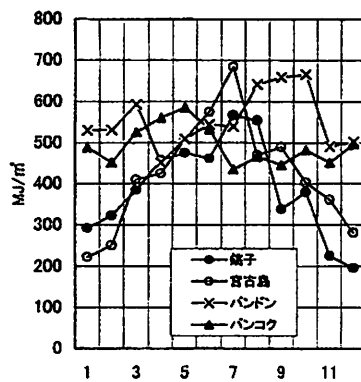


図19 各地の全天日射量 97年(月)

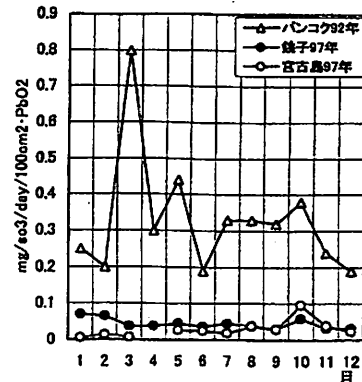


図20 各地のSO3濃度

### 3. 4地域差

#### 3. 4. 1シート試料

(1) PE 日本と東南アジアの劣化速度を比較するため、各地で変化が比較的大きく表れた耐候安定剤なしの引張破断伸びを用いて、保持率が50%に低下する時期をおおよそ推定した。その結果、銚子12か月、宮古島8か月、バンドン9か月、マニラ・バンコク6か月程度となり、銚子の値を各地の値で除した比率にすると銚子1<バンドン1.3<宮古島<1.5<マニラ・バンコク2.0となる。

(2) PVC 光沢度の変化は耐候安定剤なしでは東南アジアでの変化が大きく、又、バンドンとバンコクでは耐候グレードの試料表面に可塑剤の溶出によると考えられるベタツキが発生し、光沢度が大きく低下した。PVCの屋外での劣化要因に大気汚染の影響もあると言われており<sup>3)</sup>、東南アジアでの表面変化は大気状況を反映している可能性もある。又、耐候グレードのほうが変化が大きいことは東南アジア地域においての安定化処方に日本国内と異なる対処が必要であることを示している。

日本と東南アジアの劣化速度を比較するため、耐候安定剤なし試料が茶色に変色する時期を比較した。a\*b\*座標上でb\*がマイナス側からプラス側に变化する(青みから黄みの方向)時期を推定すると銚子と宮古島は4か月位、東南アジア諸国では約2か月となる。

(3) PC 光沢度保持率が90%になる時期を比較すると、銚子12か月、宮古島・バンドン9か月、マニラ・バンコク7か月位となり、銚子の値を各地の値で除した比率にすると宮古島・バンドン1.3、マニラ・バンコク1.7となる。

#### 3. 4. 2フィルム試料

(1) 色差 PC-FはΔEが5になる時間は東南アジア諸国では約8か月、宮古島約11か月、銚子約13か月となる。PS-SのΔEが20になる時間で比較すると東南アジア諸国では約6か月、宮古島約8か月、銚子約11か月となる。

(2) 光沢 どの試料もある時期から低下が始まるがその程度はおおよそマニラ>バンコク>バンドン>宮古島>銚子の順に早い。光沢保持率が80%になる時期で比較すると表5のようになる。

表5 光沢による地域差

場所	PC-F	PET-F	PS-S
銚子	15か月>	15か月	9か月
宮古島	13か月	12か月	7か月
マニラ	9か月	6か月	5か月
バンコク	7か月	8か月	5か月
バンドン	11か月	12か月	5か月

(3) 分光特性 毎月の吸光度の変化を1年間分積算した値を表6に示す。数値が大きいほど劣化環境が厳しいと考えることができる。

表6 吸光度による地域差

場所	PE-F	PVC-F	PC-F	PET-F	PS-S
銚子	8.621	3.025	1.969	1.644	0.909
宮古島	11.291	3.865	2.597	2.464	1.893
バンコク	21.663	6.300	3.171	2.856	2.748
バンドン	14.483	4.647	2.768	2.577	2.371

### 4. フィルム試料の気象因子との関係

各地の毎月の吸光度と気象因子を用い相関係数を計算して表7に示す。

表7 気象因子との相関係数

種類	平均気温	平均湿度	雨量	日射量	気温較差
PE	0.877	-0.073	0.101	0.836	-0.043
PVC	0.591	-0.191	0.076	0.610	0.075
PC	0.698	0.065	0.167	0.802	-0.016
PET	0.870	0.060	0.120	0.827	0.001
PS	0.768	0.019	0.125	0.764	0.091

(1) 月平均気温との関係

PE-Fは気温との相関が非常に高く各地の変化が一つの累乗曲線上に表され、ほぼ10℃の上昇で2倍の値が得られる。PVC-Fは銚子の気温の低い時期でほとんど季節変化を示さず、気温が20℃以上になると急激に変化している。PC-F、PET-F、PS-Sも概ね気温と相関があり累乗曲線的に変化をしている。

(2) 全天日射量との関係

全ての種類で概ね日射量と相関があるが同じ日射量を受けても場所によって吸光度の値が異なり、気温の高いバンコクの値が同じ日射量でも一番大きな値を示している。又、気温では累乗曲線的な変化を示したのに対し日射量とは直線的な関係を示している。

(3) 他の因子との関係

湿度、雨量、気温較差(最高気温と最低気温の差)との相関関係を検討したがいずれも有意とはならなかった。

5. まとめ

(1) 各地の変化速度を比較すると表8～表10のようになる。

表8 シート材料による比較

場所	PE-A 伸び	PVC-A*b	PC-A 光沢
銚子	1	1	1
宮古島	1.5	1	1.3
マニラ	2.0	2.0	1.7
バンコク	2.0	2.0	1.7
バンドン	1.3	2.0	1.3

表9 フィルム試料の色差光沢による比較

場所	PC-F 色差	PS-S 色差	PC-F 光沢	PET-F 光沢	PS-S 光沢
銚子	1	1	1	1	1
宮古島	1.2	1.4	1.2	1.3	1.3
マニラ	1.6	1.8	1.7	2.5	1.8
バンコク	1.6	1.8	2.1	1.9	1.8
バンドン	1.6	1.8	1.4	1.3	1.8

表10 フィルム試料の吸光度による比較

場所	PE-F	PVC-F	PC-F	PET-F	PS-S
銚子	1	1	1	1	1
宮古島	1.3	1.3	1.3	1.5	2.1
バンコク	2.5	2.1	1.6	1.7	3.0
バンドン	1.7	1.5	1.4	1.6	2.6

(2) フィルム試料の吸光度の変化は日射量と気温の相関が大きい。1か月毎に暴露した値はこれらの因子の影響を反映しており、暴露環境の指標と考えることができる。

参考文献

- 1) 石油関連設備用材料等の過酷な環境における耐候性に関する調査報告書 日本規格協会 平成8～9年度
- 2) 新発電システムの標準化に関する調査研究成果報告書 日本ウエザリングテスト社 平成8～9年度
- 3) 御山、吉田：軟質ポリ塩化ビニルの耐候性における地域差 マテリアルライフ VOL9, NO3