

高分子材料の気候区別及び試験方法別暴露試験

－「過酷環境下における高分子製品の性能評価試験方法の標準化」－中間報告

(財) 日本ウエザリングテストセンター
高根 由充

1. はじめに

プラスチック、ゴム、塗料などで代表される高分子製品が使用される環境は産業活動の拡大に伴い地球規模に広がっており、極寒地帯から熱帯雨林地帯或いは砂漠のような高温乾燥地帯まで気温、湿度、日射量、紫外線量、雨量などの環境因子が大幅に異なる状況で使用されている。

このような状況から、高分子製品を適切なリファレンス試料と同時に暴露することによって、環境の大きく異なる地域においても適切に製品の耐候性を予測できるような試験方法を開発することを目的に暴露試験を開始した。

今回は各種高分子材料（PP、PVC、ABS、PC、PA、PMMA）とリファレンス候補試料（PE、PC、PET、PS）を国内3カ所（札幌、銚子、宮古島）及び海外2カ所（インドネシア・スルボン、米国・フェニックス）において直接暴露試験を行い、また、銚子と宮古島ではアンダーグラス暴露を、米国フェニックスでは太陽追跡集光暴露も行っている中から、材料毎の経時的な変化、アンダーグラス暴露と太陽追跡集光暴露試験の直接暴露との比較、リファレンス候補試料による各種暴露環境の定量評価などを中心に報告する。

本報告は日本化学工業協会が新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）から委託を受けた、新規産業支援型国際標準開発事業「過酷環境下における高分子製品の性能評価試験方法の標準化」プロジェクトの一部である。

2. プロジェクトの概要

2. 1 試験片の種類

(1) 試験片

PP、PVC、ABS、PC、PA（それぞれの未安定化及び安定化試料）及びPMMA（注形及び射出成形板）

(2) リファレンス候補試料

PE、PC、PET、PS

2. 2 暴露試験

(1) 暴露方法

直接暴露、アンダーグラス暴露、太陽追跡集光暴露

(2) 暴露場所

直接暴露：札幌、銚子、宮古島、セルボン（インドネシア）、フェニックス（米国）

アンダーグラス暴露：銚子、宮古島

太陽追跡集光暴露：フェニックス

(3) 暴露期間

直接暴露及びアンダーグラス暴露について

未安定化試料：最長20ヵ月、2ヵ月毎に取り出し

安定化試料：最長40ヵ月、4ヵ月毎に取り出し

リファレンス候補試料：1ヵ月暴露を繰り返す

太陽追跡集光暴露について

紫外線量規準

(4) 暴露角度

札幌45度、銚子30度、宮古島20度、セルボン5度、フェニックス34度

(5) 暴露開始時期

直接暴露及びアンダーグラス暴露について

各地とも平成11年10月1日前後

太陽追跡集光暴露について

平成12年6月中旬

2. 3 実験室光源暴露

(1) 光源：キセノン

(2) 試験条件：60W/m²、BP63±3℃、120分中18分噴霧

2. 4 測定項目

試験片：色差、光沢、引張特性

リファレンス候補試料：赤外分光分析、紫外可視分光分析

3. 実験結果

(1) PP

図1に屋外暴露暴露及び太陽追跡集光暴露後の物性値の変化を示す。

1) 色差

- a) 直接暴露での経時変化の傾向：色差は経時的に増加する傾向にある。未安定化試料のセルボンデータにおいて、他の試験場よりも増加の程度が大きい。
- b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：アンダーグラス暴露のほうが変化が少ない傾向が認められる。
- c) 集光暴露での傾向：色差は、未安定化試料では $25\text{MJ}/\text{m}^2$ からやや増加し、安定化試料では $60\text{MJ}/\text{m}^2$ から増加するが、それ以降、ほとんど一定になる。

2) 光沢

- a) 直接暴露での経時変化の傾向：光沢度は経時的に低下する。特に、未安定化試料の光沢度は、6ヵ月以降急激に低下する。未安定化試料のセルボンデータにおいて、他の試験場よりも低下の程度が大きい。
- b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：未安定化試料では明らかに認められ、安定化試料でも認められる。
- c) 集光暴露での傾向：光沢度は、未安定化試料では $50\text{MJ}/\text{m}^2$ から低下し始め、安定化試料では $120\text{MJ}/\text{m}^2$ から低下し始める。

3) 引張破断強さ

- a) 直接暴露での経時変化の傾向：未安定化のセルボンを除き引張破断強さは経時的な変化がほとんど認められない。未安定化のセルボンは12ヵ月以降低下傾向にある。
 - b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：同上
 - c) 集光暴露での傾向：引張破断強さはデータの変動は認められるものの経時的に明確な傾向が認められない。
- ##### 4) 引張破断伸び、破壊エネルギー
- a) 直接暴露での経時変化の傾向：データのバラツキが大きく、また、データ点数が少ないために明確な傾向は認められないが、低下する傾向にある。なお、2ヵ月暴露試料は未暴露試料よりも破壊エネルギーが大きくなっている。この原因は明確ではない。
 - b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：アンダーグラス暴露は直接暴露に比べて低下の程度が小さい。
 - c) 集光暴露での傾向：未安定化試料では $50\text{MJ}/\text{m}^2$ から急激に低下し、安定化試料では暴露により徐々に低下する。

(2) PVC

図2に屋外暴露暴露及び太陽追跡集光暴露後の物性値の変化を示す。

1) 色差

- a) 直接暴露での経時変化の傾向：各地とも暴露初期に色差が10程度になりその後漸増する。地域差はフェニックスを除き明瞭ではない。フェニックスではある時期から黒化が始まる。
- b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：未安定化、安定化PVC双方とも地域差、及び暴露法による差は見られない。
- c) 集光暴露での傾向：未安定化PVCは暴露開始とともに着色が進行し $60\text{MJ}/\text{m}^2$ からその度合いがより急速になっている。 $150\text{MJ}/\text{m}^2$ ではその表面は殆ど黒色であった。安定化PVCでは $240\text{MJ}/\text{m}^2$ までは着色の増加は非常に緩やかである。しかしこれ以降は急激な上昇を示している。

2) 光沢

- a) 直接暴露での経時変化の傾向：セルボン、フェニックスである時期から低下傾向を示すようになるが他の地域ではほぼ初期のレベルを維持していると思われる。
- b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：アンダーグラス暴露の変化は少ない。
- c) 集光暴露での傾向：未安定化PVCは $120\text{MJ}/\text{m}^2$ まで、安定化PVCは $180\text{MJ}/\text{m}^2$ まで変化は少ないように思われる。それ以降の保持率の減少は急である。

3) 引張試験

a) 直接暴露での経時変化の傾向

- イ) 降伏強度保持率及び破断強度保持率：12ヵ月間暴露で何れの暴露場所でも強度低下は現れていない、またアンダーグラスでも同様である。
- ロ) 破断伸び保持率：未安定化PVCでは増減はあるが低下傾向にある。安定化PVCではフェニックス、セルボンの減少の度合いが大きく、12ヵ月で約30%の保持率であり他は約60%以上を示している。
- b) 直接暴露とアンダーグラス暴露に関して：両暴露方法間の差は現時点では認められない。更らにデータの蓄積が

必要である。

c) 集光暴露での傾向

イ) 破断強度保持率：未安定化PVCは暴露開始から60MJ/mまでは穏やかに保持率の減少を示すが、その後ほぼ横這い状態となっている。一方安定化PVCは殆ど低下は認められない。

ロ) 破断伸び保持率：暴露開始から比較的急速に保持率の低下が進行し、ある照射エネルギー量で反対に保持率が増加する。これは試験片表面を観察すると、その表面に現れているクラックの大きさ、形状が異なっているのが分かる。

(3) ABS

図3に屋外暴露暴露及び太陽追跡集光暴露後の物性値の変化を示す。

1) 色差

a) 直接暴露での経時変化の傾向：今回の暴露時間内では黄変の進行による色差変化であり、表面クレージング等の発生で白化するような退色が始まるまでには至っていないと考えられる。直接暴露では傾向として、札幌<銚子<宮古島<セルボン、フェニックスの順に色差変化が大きくなっている。

b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：紫外線量、降雨量の影響が小さくなるアンダーグラス（銚子、宮古島）では、色差変化は緩慢で、ガラスなしの通常の直接暴露と比べ2~3ヶ月遅れに相当する変化を示している。また、アンダーグラスでは、地域差（銚子、宮古島）は余り大きく現れていない。

c) 集光暴露での傾向：集光暴露も直接暴露と概略同じ傾向を示すが、90MJ/mを超えると色差変化は大きくなる。

2) 光沢

a) 直接暴露での経時変化の傾向：直接暴露されると光沢は低下する傾向を示し、セルボン以外は光沢変化の傾向は概略似ている。12ヵ月後では30~50%であるのに対して、セルボンでは、低下傾向が大きく約10%まで低下している。

b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：アンダーグラスでは、光沢の低下は非常に小さい傾向を示す。

c) 集光暴露での傾向：集光暴露では、90MJ/mまでは徐々に光沢が低下し70%程度は保持しているが、90MJ/mを超えると約10%にまで急激に光沢の低下が起こる。

3) 引張り強さ

引張り強さに対しては、直接暴露及び集光暴露ともに安定化の効果が余り得られていないと見ることもできるが、アンダーグラスでは安定化の効果が得られていることから、効果が小さくなっているだけと思われる。

4) 破断伸び

未安定化、安定化試料ともに、直接暴露及び集光暴露において、短時間（直接暴露で2ヵ月程度、集光暴露で30MJ/m程度）で破断伸びが大きく低下している。それ以降は、横ばいの傾向にあり、安定化の有無や地域差、アンダーグラス及び集光暴露等の試験法の差異も認められていない。

(4) PC

図4に屋外暴露暴露及び太陽追跡集光暴露後の物性値の変化を示す。

1) 色差

a) 直接暴露での経時変化の傾向：未安定化試料は暴露開始後から、徐々にかつ暴露期間に応じてほぼ直線的に黄変が進行している。進行の程度は各地域の影響を受けて、セルボン、フェニックス、宮古島、銚子、札幌と暴露条件の厳しい順となっている。安定化試料については紫外線防止効果が出ている。セルボン、フェニックスでは、12ヵ月でΔEが4程度変化しているが、それ以外の地域はほとんど変化がしていない。

b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：アンダーグラスはガラスによる紫外線の遮断により、未安定化試料に12ヵ月でΔEが2とやや変化が見られるが、安定化試料は全く変化していない。

c) 集光暴露での傾向：未安定化試料はほぼ直線的に増加する。安定化試料も増加傾向にあるがその程度は緩やかである。

2) 光沢

a) 直接暴露での経時変化の傾向：未安定化試料と安定化試料の光沢度は同様な低下傾向を示している。フェニックス及びセルボンの未安定化試料及び安定化試料はともに暴露開始から低下し、12ヵ月暴露後で、フェニックスの未安定化試料と安定化試料は100~120（35~50%低下）とセルボンの未安定化試料と安定化試料は40（80%低下）と大きく低下している。

b) アンダーグラス暴露と直接暴露の違い：アンダーグラス暴露では未安定化、安定化ともほとんど変化していない。

c) 集光暴露での傾向：未安定化、安定化とも光沢の低下はわずかである。

3) ヘーズ

a) 直接暴露での経時変化の傾向：セルボンの未安定化試料と安定化試料のヘーズは6ヵ月から急激な変化が始まり、12ヵ月では約30に達している。フェニックスも6ヵ月から変化し始めているが、その変化は小さく12ヵ月で7程度で

ある。

b) アンダーガラス暴露と直接暴露の違い：アンダーガラス暴露ではほとんど変化していない。

c) 集光暴露での傾向：未安定化、安定化とも変化はわずかである。

4) 引張り強さ

a) 直接暴露での経時変化の傾向：未安定化試料は暴露開始から徐々に低下して、10 ヶ月暴露でセルボン、フェニックス、宮古島は、初期値から 60%低下して 3kgf/mm²程度となっている。しかし、12 ヶ月暴露結果はバラツキが大きく比較できない。バラツキは、表面の微少クレーズ、膨れ等の影響が推定される。一方、安定化試料もセルボン、フェニックス、宮古島も徐々に低下して、12 ヶ月暴露で 30%程度の低下である。

b) アンダーガラス暴露と直接暴露の違い：アンダーガラスは未安定化試料及び安定化試料ともに 12 ヶ月暴露時点でもほとんど低下していない。

c) 集光暴露での傾向：未安定化試料は暴露初期から緩やかに、安定化試料はある時点から低下し始める。

6) 破断伸び

a) 直接暴露での経時変化の傾向：未安定化試料は暴露開始から大きな低下を示し、セルボン、フェニックス、宮古島及び銚子は、10~12 ヶ月暴露時点でほとんど伸びを失っている。一方安定化試料は 12 ヶ月暴露でも、札幌、銚子はそれぞれ 90%と 80%と十分伸びを有している。暴露条件の厳しいセルボン、フェニックス、宮古島の 12 ヶ月でも 50%以上の伸びを保って耐候性処理の効果が出ている。

b) アンダーガラス暴露と直接暴露の違い：アンダーガラス暴露では未安定化、安定化ともほとんど変化していない。

c) 集光暴露での傾向：未安定化試料は暴露初期から緩やかに、安定化試料はある時点から低下し始める。

(5) PA

図 5 に屋外暴露暴露及び太陽追跡集光暴露後の物性値の変化を示す。

1) 色差

a) 直接暴露での経時変化の傾向：各地とも徐々に増加する。セルボンは暴露後の変化が大きい。

b) アンダーガラス暴露と直接暴露の違い：直接暴露に比べて変化が小さい。

c) 集光暴露での傾向：未安定化試料及び安定化試料ともにわずかに増加する。

2) 光沢

a) 直接暴露での経時変化の傾向：未安定化試料及び安定化試料の光沢は経時とともに低下する。その傾向は、両試料とも同じで、フェニックス<札幌、銚子<宮古島、セルボンの順に低下が大きい。

b) アンダーガラス暴露と直接暴露の違い：アンダーガラス暴露では直接暴露に比べると光沢の低下は大幅に小さくなる。

c) 集光暴露での傾向：ある時期から低下傾向を示すようになる。

3) 引張強さ

a) 直接暴露での経時変化の傾向：未安定化試料では経時により低下している。引張強さの低下の地域差については、フェニックス<札幌、銚子<宮古島、セルボンの順に低下するような挙動を示している。これは、安定化試料もほぼ同様である。

b) アンダーガラス暴露と直接暴露の違い：アンダーガラス暴露後の引張強さの低下は、銚子、宮古島とも直接暴露に比べてかなり小さい。降雨の影響の有りに無しに関係すると思われる。

c) 集光暴露での傾向：未安定化試料及び安定化試料とも、引張降伏強さはそれほど大きく変化しない。しかし、引張破断強さは両試料とも暴露によって低下する。引張破断強さの低下速度は安定化試料の方が小さく、耐候剤の効果認められる。未安定化試料では 100MJ/m²程度の暴露から、安定化試料では 180MJ/m²程度の暴露からは引張破断強さが 4.0kgf/mm²の値に収斂している。

4) 破断伸び

a) 直接暴露での経時変化の傾向：未安定化試料では、各地域とも経時により引張破断伸びの低下が起っている。その低下の程度は、札幌、銚子<宮古島、フェニックス<セルボンの順に大きく、地域による差は大きい。安定化試料については、初期値の引張破断伸び値が 119%と小さすぎる（200%程度が正しい値と思われる）が、経時による低下は同様である。地域差による低下の程度は、札幌<銚子、フェニックス<宮古島<セルボンの順に大きい。

b) アンダーガラス暴露と直接暴露の違い：アンダーガラス暴露は直接暴露と大きな差を示している。アンダーガラス暴露では、未安定化試料及び安定化試料とも 12 ヶ月暴露後においても、初期値に対して 80%以上の値を保持している。このことは、色差、光沢及び引張破断強さでも同様な傾向である。

c) 集光暴露での傾向：暴露量の増加により両試料とも引張破断伸びは低下する。初期の引張破断伸び（200~220%）は、未安定化試料では 150MJ/m²暴露後に 40%程度まで低下し、安定化試料では 270MJ/m²暴露後に 40%程度まで低下する。

(6) PMMA

図6に屋外暴露暴露及び太陽追跡集光暴露後の物性値の変化を示す。

- 1) 色差 直接暴露では1-2か月の段階ではPMMA-X及びPMMA-Yともほとんど変化しておらず、より長期の暴露が必要である。アンダーグラス暴露及び集光暴露でもほとんど変化が見られていない。
- 2) 光沢 同上。
- 3) 引張り強さ 同上。
- 4) 破断伸び PMMA-Xは直接暴露及び太陽集光暴露とも変化が見られないが、PMMA-Yはわずかに低下しているようである。引き続き低下傾向にあるかどうか判断するにはより長期のデータが必要である。集光暴露ではPMMA-Yが低下している。

(7) リファレンス候補試料

1) 直接暴露試験

日本国内3か所（札幌、銚子、宮古島）、インドネシア2か所（セルボン、バンドン）、及び米国フェニックスで行っている暴露試験の結果、どの試料も日本国内3か所とフェニックスでは夏期に高く冬期に低い傾向にあるが、インドネシア2か所では年間を通してほぼ一定である。1年経過時の積算値によって各地の比較をすると表1のようになる。

表1 リファレンス候補試料による各地の特性値の比較

場所	PE		PC		PS	
	積算値	比率	積算値	比率	積算値	比率
札幌	7.171	0.78	2.216	0.91	0.732	0.93
銚子	9.250	1	2.427	1	0.784	1
宮古島	12.664	1.37	2.791	1.15	1.140	1.45
セルボン	17.704	1.91	3.177	1.31	1.474	1.88
バンドン	14.671	1.59	3.354	1.38	1.411	1.80
フェニックス	16.133	1.74	3.442	1.42	1.895	2.42

試料毎に地域間の差が異なることから、試料毎に環境因子の関わりが異なることが示唆される。これについては今後より多くのデータを収集した時点で毎月の気象因子との関係を求め、リファレンス試料の特性を明らかにする予定である。

2) アンダーグラス暴露

アンダーグラス暴露試験は銚子と宮古島で行っている。

PEは直接暴露と同様な季節変化を示すが冬期は直接暴露より変化が少なく、夏期は直接暴露より大きな値を示す。PCは直接暴露よりも少ない値を示し、銚子のほうが宮古島よりも変化が大きい。PETは直接暴露に比較すると非常に小さい変化しか示さない。銚子のほうが宮古島よりわずかに大きな変化を示す。PSは直接暴露では銚子と宮古島の差が大きかったがアンダーグラスでは両地域の差がない。

1年経過時の積算値によって直接暴露との比較をすると表2のようになる。

表2 リファレンス候補試料による直接暴露とアンダーグラス暴露の比較

場所	PE		PC		PS	
	積算値	比率	積算値	比率	積算値	比率
銚子	9.250	1	2.427	1	0.784	1
銚子アンダーグラス	9.369	1.01	0.922	0.38	0.347	0.44
宮古島	12.664	1	2.791	1	1.140	1
宮古島アンダーグラス	12.980	1.02	0.908	0.33	0.341	0.30

これらの結果から短波長の紫外部がカットされた影響や直接暴露との温度や水分の影響の違いが示唆される。詳細な解析はより多くのデータを得て行う予定である。

3) 集光暴露

30MJ/m毎に暴露を24回繰り返した。暴露を開始した時期によって30MJ/mに達するまでの時間は異なっている。表3に季節による暴露期間の違いを示す。夏期は1週間足らずで30MJ/mに達するのに対し、秋期から冬期にかけては1週間で終了する時もあれば3週間を要する場合があるなど時期による変動が大きくなる。

表3 30MJ/m²に達する日数

回数	暴露期間	日数	回数	暴露期間	日数
1	6/13~6/18	5	13	9/16~9/23	7
2	6/20~6/26	6	14	9/23~10/1	7
3	6/27~7/3	6	15	10/2~10/12	10
4	7/3~7/8	5	16	10/12~10/20	8
5	7/9~7/17	8	17	10/21~11/13	23
6	7/17~7/23	6	18	11/14~11/28	14
7	7/24~7/30	6	19	11/29~12/17	18
8	7/31~8/9	9	20	12/28~1/4	7
9	8/10~8/19	9	21	1/5~1/25	20
10	8/19~8/31	12	22	1/29~2/10	12
11	8/31~9/9	9	23	2/11~2/24	13
12	9/10~9/16	6	24	2/24~3/14	18

4. 現時点でのまとめ

1) 各樹脂の暴露後の劣化パターンが明らかになりつつある。横軸に何をとりかにもよるが色差のように物性値が上昇するものは二次的または直線的に上昇するもの(PP、ABS、PC)、暴露後比較的大きく変化した後ある点を保っているもの(PVC、PA)がある。ただし、PVCは地域によって黒化する場合がありますその場合はパターンが異なる。また、光沢や引張特性のように低下する場合は暴露後ゆるやかなS字曲線を描いて低下するもの、または指数関数的に低下するものがほとんどである。指数関数的な変化は逆S字曲線の変形とも考えられる。例外的にPPの破断伸びが暴露初期に増加する現象、ABSの暴露初期に白化現象による色差の増加の後徐々に黄変するため初期値に一度戻ってから再び色差が増加するというN時曲線を描く例がある。

これらのパターンは普遍的なものではないかもしれないが、暴露場所及び暴露方法の違いによる劣化因子の作用の違いまたは試料の安定化の効果など屋外と促進暴露との相関を考える際に参考になると考えられる。

2) 表面形態が樹脂によって異なる。樹脂の流れ方向に直角に微細なクラックが入るもの(未安定化PP)、亀甲状のランダムなクラックの入るもの(PA)、表面から微細な剥がれのようなくぼみが見られるもの(ABS、PC)、表面が微細に荒れたようになるもの(PVC)、うすく曇ったようになるもの(PMMA)など。ただし、安定化PPはクラックは見られないが光沢は減少している。安定化処理によって表面状態が異なっている。

3) 気象因子の影響に関しては概して緯度順の変化、または紫外線量の順位に近いが、PAに関しては湿度の作用の有無がセルボン(多湿)とフェニックス(乾燥)の暴露から明確である。これらの結果は紫外線、温度、水分の作用が各地で同じように働くのではなく、場所によって作用する度合いが異なることを示している。

4) アンダーグラス暴露ではガラスによる紫外線の遮断という劣化を抑制する効果と温度の上昇という劣化を促進する作用がある。多くの樹脂は劣化が抑制されているがPVCとリファレンス用PEは直接暴露とあまり差がない。また、雨による洗浄効果が無いため埃が堆積しやすくこれによっても紫外線が遮断されてしまうという欠点がある。

5) 太陽追跡集光暴露は紫外線照度と温度の上昇効果があり、また、同じ紫外線量に到達する時間が季節によって大きく異なる実態が明らかになった。

6) リファレンス候補試料の直接暴露、アンダーグラス暴露など各種暴露試験により試験方法毎に適不適があることが明らかになった。PEはアンダーグラス暴露と直接暴露の差が少なく、PCはアンダーグラス暴露による紫外線の遮断効果をよく反映している。

7) リファレンス候補試料の物性変化を暴露期間の長さを測る尺度とし、屋外暴露と実験室光源暴露の共通の尺度になりうるか検討している。樹脂により、また、物性値により適用可能か不適かを分類している。例としてPEはリファレンスとして多くの材料に適用できそうである。ただし、PVCの色差、PAの光沢には不適であった。

5. 今後の計画

今回の実験の目的はリファレンス試料を開発することであり、また、各樹脂の暴露結果は中間段階であるので各樹脂の詳しい劣化解析は行っていない。しかし、広範な気候区及び各種試験方法別の実験は過去に例のない実験であるので、得られた試料及びデータを活用し、耐候性試験の大きな課題である直接暴露試験と促進試験との相関性、再現性に関するデータの一つとして整備すると同時に各種試験方法の問題点なども抽出したい。

参考文献

「過酷環境下における高分子製品の性能評価試験方法の標準化」 日本化学工業協会 平成12年度

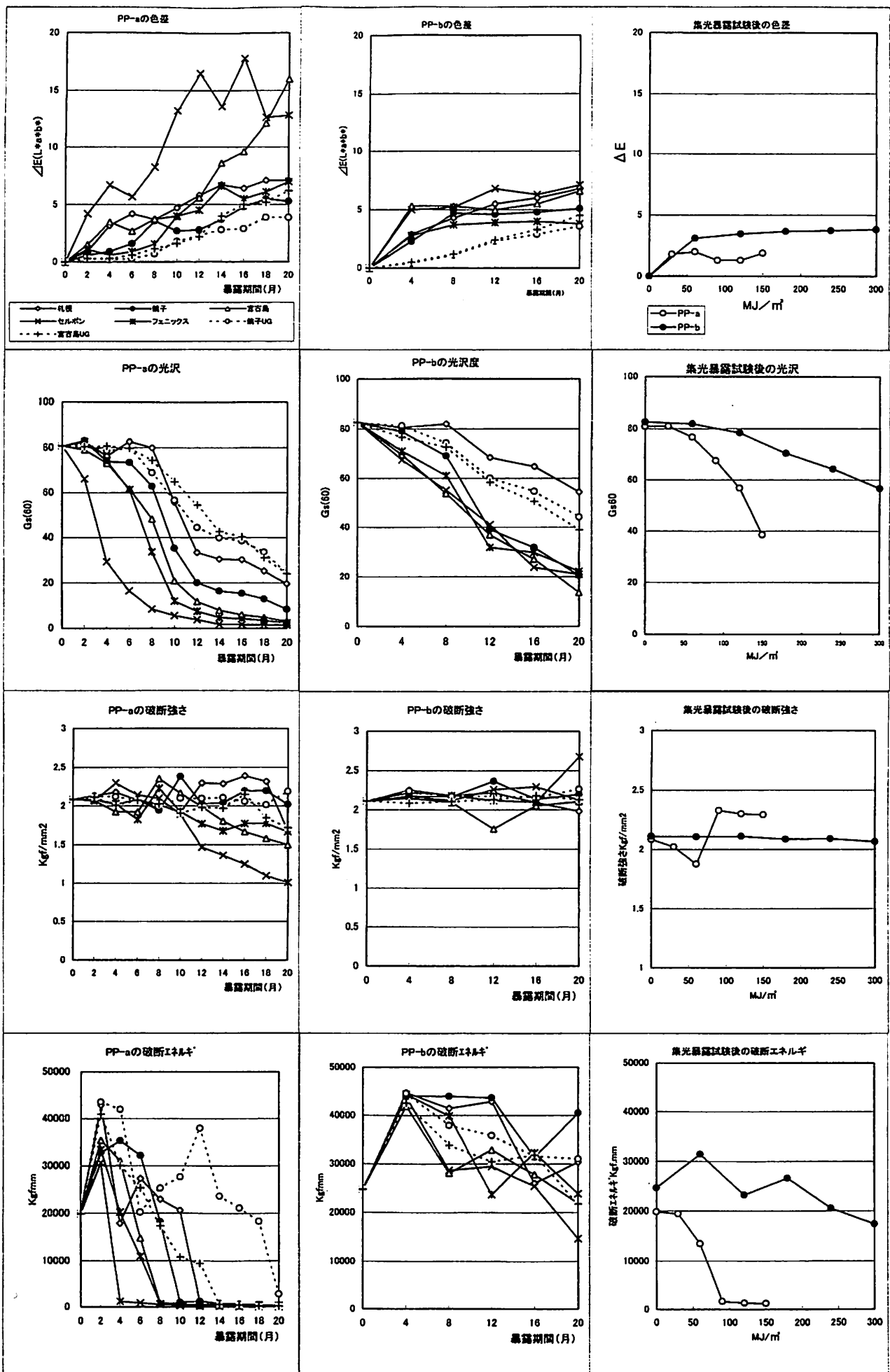


図1 PPの屋外暴露及び集光暴露による物性値の変化(左図-未安定化、中図-安定化、右図-集光暴露)

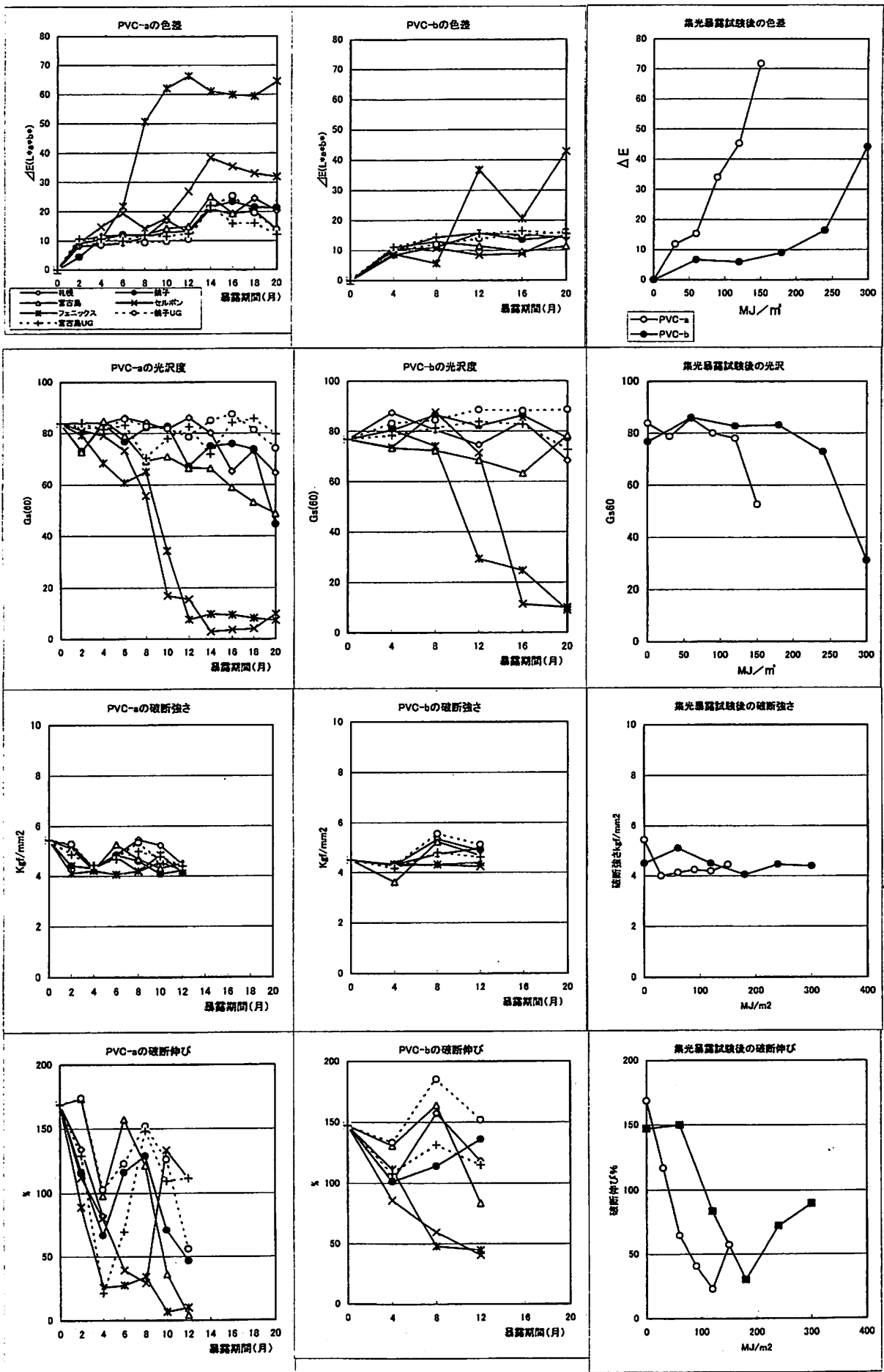


図2 PVCの屋外暴露及び集光暴露による物性値の変化(左図-未安定化、中図-安定化、右図-集光暴露)

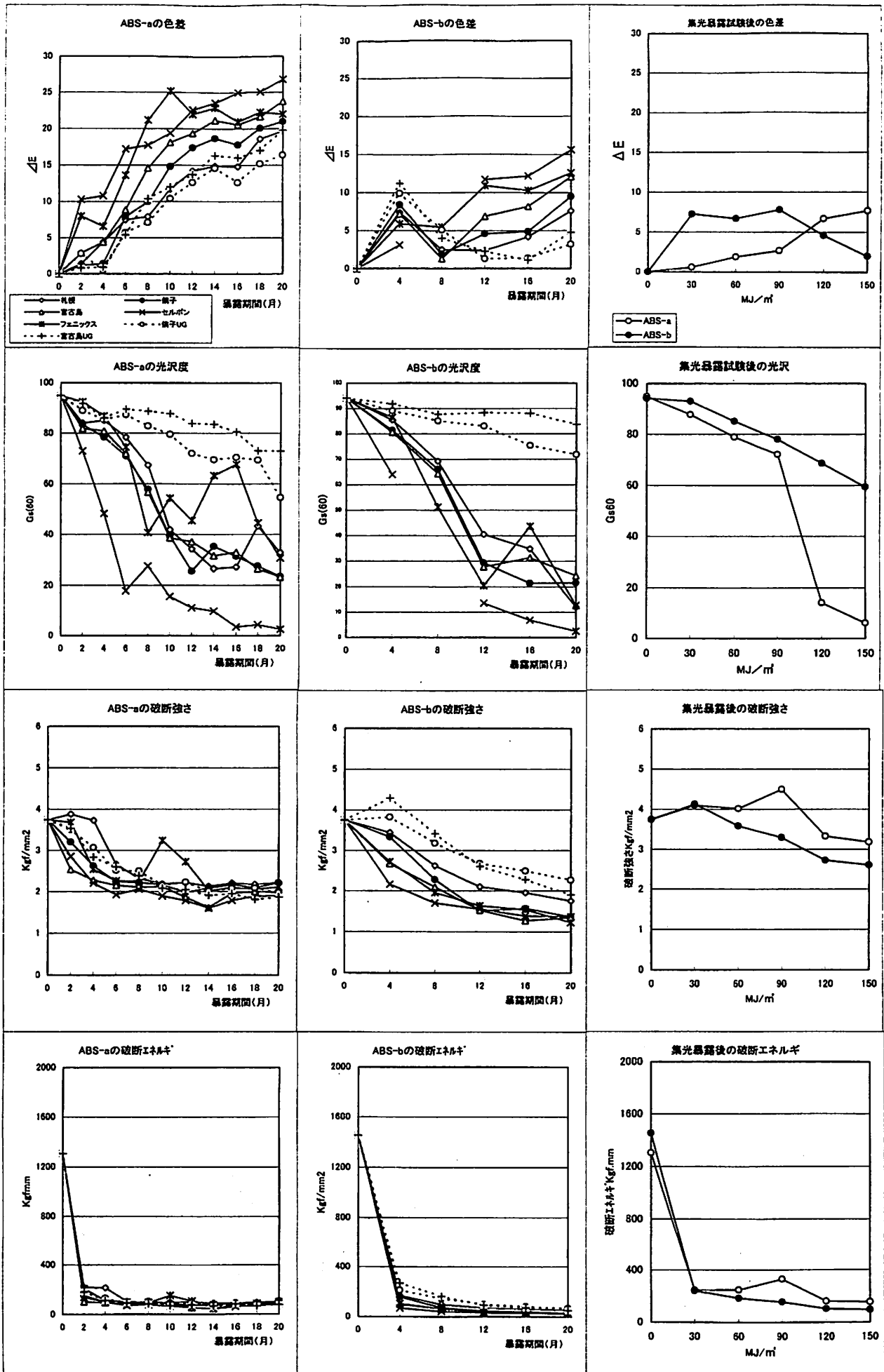


図3 ABSの屋外暴露及び集光暴露による物性値の変化(左図-未安定化、中図-安定化、右図-集光暴露)

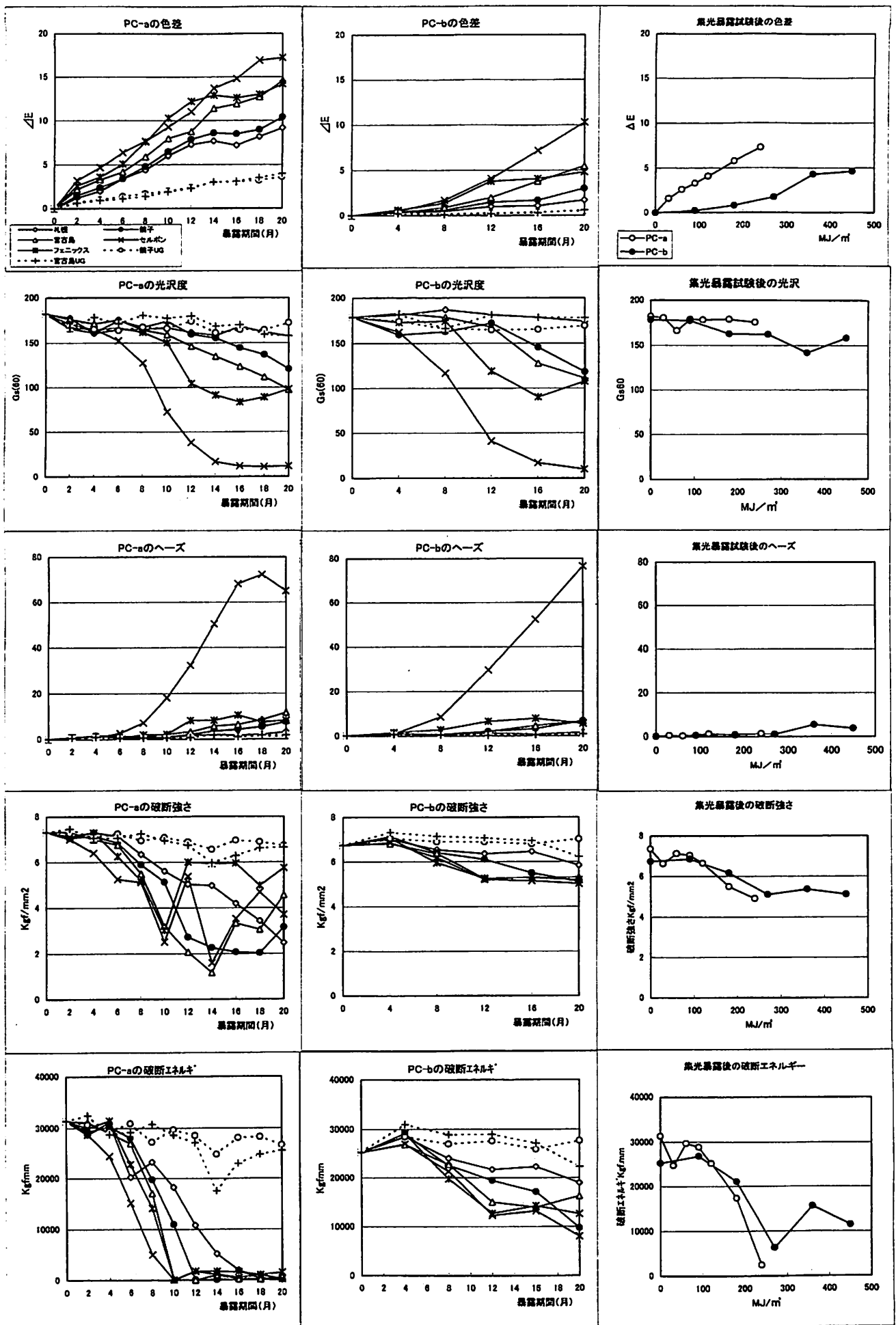


図4 PCの屋外暴露及び紫外線暴露による物性値の変化(左図-未安定化、中図-安定化、右図-紫外線暴露)

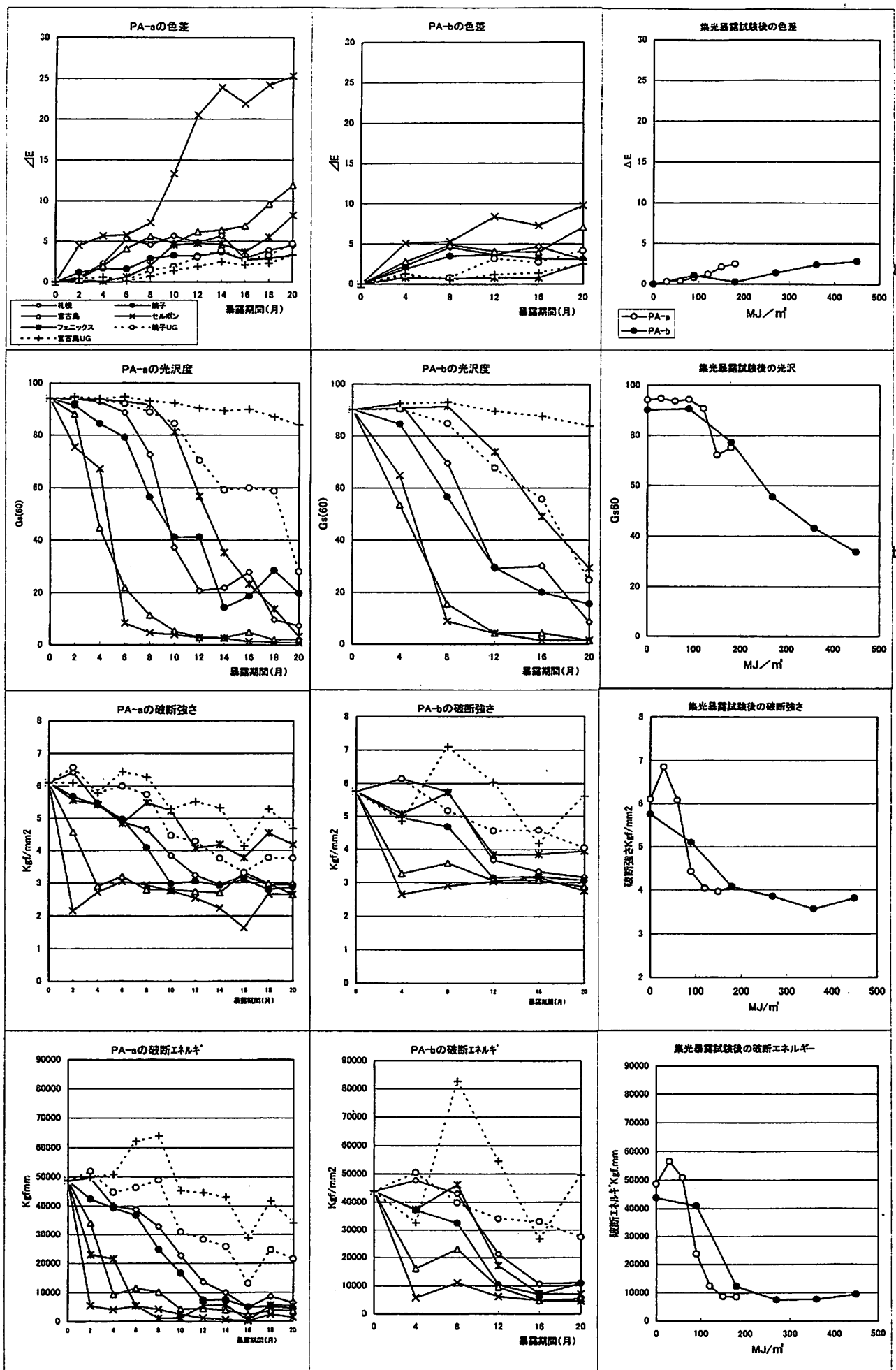


図5 PAの屋外暴露及び集光暴露による物性値の変化(左図-未安定化、中図-安定化、右図-集光暴露)

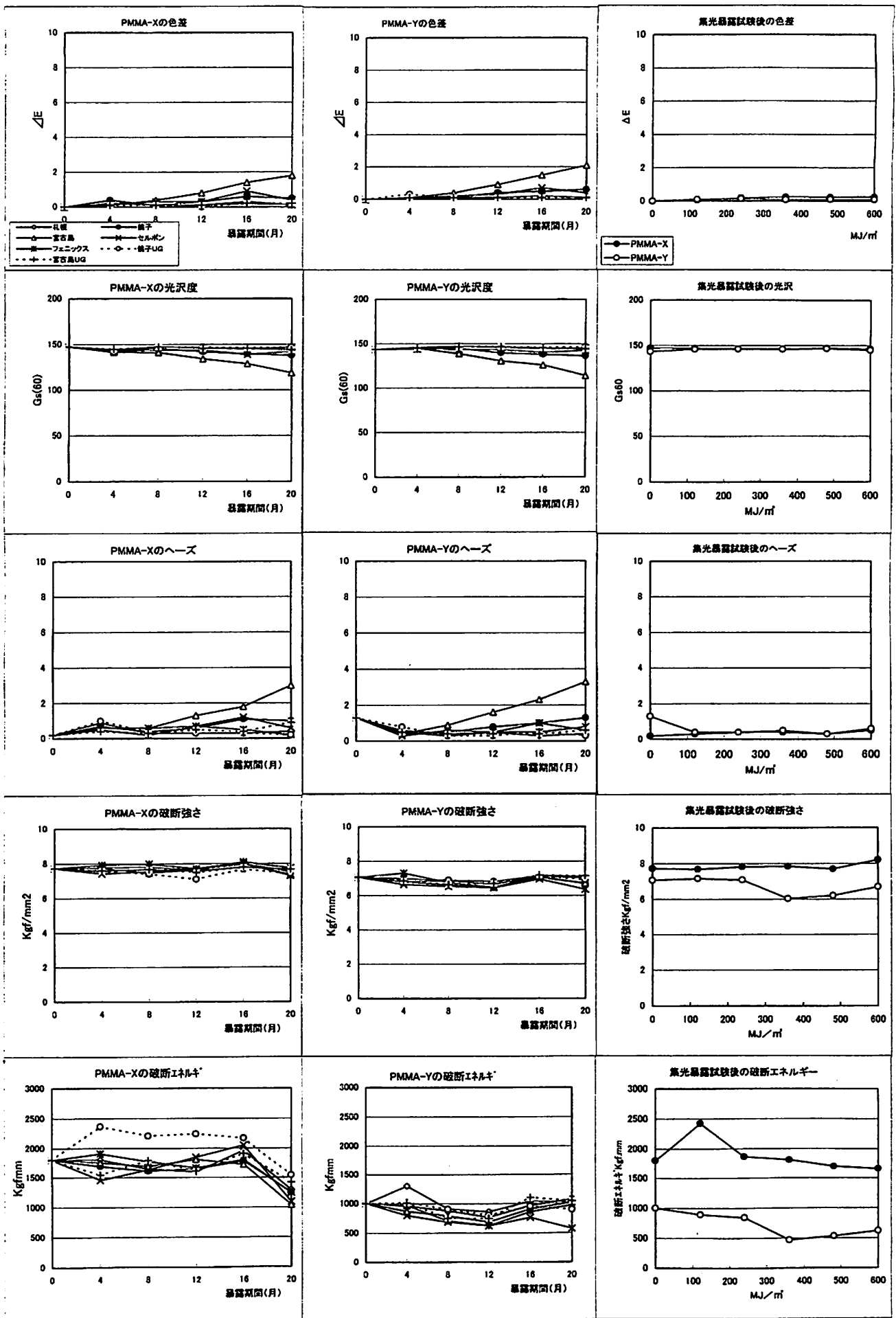


図6 PMMAの屋外暴露及び集光暴露による物性値の変化(左図-注型板、中図-射出板、右図-集光暴露)