

射出成形品の強度および寿命の予測に関する研究 —プラスチック再生材が製品寿命に及ぼす影響に関する研究（第1報）—

寺澤 章裕・阿部 治・山田 博之・中村 聖名

Study on Estimation of Strength and Life Time of Injection Molding Parts

—Study on Effect for Life Time of Injection Molding Parts with Reused Plastics—(1st Report)

Akihiro TERASAWA, Osamu ABE, Hiroyuki YAMADA and Masana NAKAMURA

要 約

プラスチック射出成形では、製品部以外にスプルー等が成形される。これらスプルー等は、粉碎された後、再生材として新品のペレットと混合されて、再利用されることがある。しかし、再生材を利用した製品の物性や寿命評価については研究例が少ない。そこで、本研究では、ABS樹脂と高密度ポリエチレン樹脂について、再生材を混合した試験片に対して屋外暴露試験を実施し、色味の経時変化及び強度変化からプラスチック再生材が製品寿命に及ぼす影響に関して評価を行った。また、ABS樹脂については耐光性試験機による紫外線照射試験も行い、色味の変化を測定して、屋外暴露試験片と比較した。その結果、再生材を混合することによって生じた初期の色差が、その後の屋外暴露試験等による経時変化においても影響していることが確認出来た。また、高密度ポリエチレン樹脂の最大荷重時の伸び量が、再生材の混合によって成形直後から減少し、その後の屋外暴露試験による経時変化にも影響を与えていることが確認出来た。

1. 緒 言

プラスチック射出成形加工は、熔融した樹脂材料を金型内へ射出して製品を成形することで、大量の製品を低コストで生産出来る。そのため、製品一個あたりの利益は低く、製品価格に占める材料費の割合は高い傾向がある。一方、金型から取り出された成形品は、製品部分の他に、樹脂材料を金型内の樹脂充填部に流すための流路である、スプルー・ランナー・ゲートも成形される。これらスプルー等は、ゲートカットされた後、材料費の抑制を目的に、それらの一部は粉碎され、新品のペレット材料（バージン材）と混合されて、再度成形加工に用いられることがある。このように一度成形された後に粉碎されて再利用される材料は再生材と呼ばれている。

再生材を使用する際は、成形品の性能が規定の値よりも低下しない範囲内で使用しなければならない。成形直後の製品の性能試験であれば比較的短時間に行えるが、寿命評価となると長期間の試験が必要となる。バージン材のみで成形した製品の寿命評価については、研究も行なわれているが、再生材を使用した製品の寿命評価についての研究例はほとんど報告されていない。

そこで、本研究では、プラスチック再生材を利用した製品に対して、長期間の暴露試験等を実施しなくとも、

成形直後に実施可能な試験の結果や、既に寿命試験等が行われているバージン材 100%の成形品との比較、または短期間の耐光性試験の結果などから製品寿命の概算を行うことを目的とした。

本年度は ABS樹脂汎用グレード、ABS樹脂耐光（耐候）グレード、高密度ポリエチレン（HDPE）樹脂を選択し、これらの樹脂材料に再生材を混合した試験片を作製して、約半年間の屋外暴露試験を実施した。そして、プラスチックの寿命評価項目として用いられることが多い、色味の経時変化の測定と、材料試験（引張試験）を実施した。また、ABS樹脂汎用グレードについては、キセノンランプタイプの耐光性試験を実施して、色味の経時変化を屋外暴露試験結果と比較した。

2. 実験方法

2-1 試験材料

樹脂には様々な種類があるが、複雑な分子構造を持つ樹脂を評価対象とした場合、強度および寿命に影響する因子が増加し、考察する論点が多岐に渡ってしまうと考え、分子構造が単純な汎用樹脂である高密度ポリエチレン（以下、HDPEと記す）樹脂を評価対象の一つとして選定した。

また、ABS樹脂のブタジエン成分は熱により劣化し¹⁾、粘度や強度に影響するため、ABS樹脂も評価対象として選定した。

HDPE樹脂は旭化成ケミカルズ(株)製のサンテック J311を、ABS樹脂は旭化成ケミカルズ(株)製のスタイラック ABS 191 (汎用グレード) およびスタイラック FW130 (高耐候グレード) を用いた。樹脂材料はすべて、着色されていないナチュラル状態の材料を用いた。

2-2 試験片の作製

射出成形機 (ファナック(株)製 ROBOSHOT α -30C) を用いて図1に示す試験片を作製した。バージン材100%で成形した試験片を粉砕し、これを再生材とした。そして、バージン材に対する再生材の混合割合を0%、25%、50%、100%として、試験片を成形した。さらに再生材100%で成形した試験片を再度粉砕した再生材を用いて成形した試験片 (以下、「再生2回材100%」と記す) を準備した。表1に主な成形条件を示す。ABS樹脂は汎用グレード、耐候グレード共に同一条件で成形した。また、いずれの樹脂材料も再生材の混合割合によらずに同一条件で成形した。

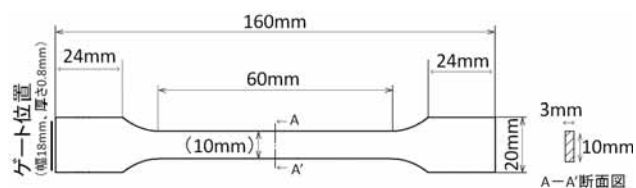


図1 成形した成形品

表1 主な成形条件

樹脂名	ABS	HDPE
射出速度	35 mm/sec	35 mm/sec
射出圧力	1100 kg/cm ² (108MPa)	350kg/cm ² (34.3MPa)
保圧	500 kg/cm ² (49.0MPa)	150 kg/cm ² (14.7MPa)
保圧時間	5秒	5秒
冷却時間	20秒	20秒
成形温度 (ノズルヒータ部温度)	220°C	220°C
金型温調の設定温度	40°C	40°C

2-3 屋外暴露試験

成形した試験片で屋外暴露試験を実施した。図2は試験の概略写真を示す。JIS K7219に従って架台を作製し、山梨県富士工業技術センター (東経 38° 29', 北緯 138°

48', 標高 778m) の屋上に南向きに設置角度 30° で設置した。試験は平成 25 年 8 月 7 日より開始し、本報では約半年間の暴露試験結果について示す。また、照射紫外線量は、(株)ティアンドデイ製データロガー「おんどとり TR-72Ui」を架台に設置して記録した。「おんどとり TR-72Ui」のセンサー部分は、紫外線の吸収が少ない材料である石英ガラスで作製した容器に入れた。



図2 屋外暴露試験の概略写真

2-4 耐光性試験機による試験

屋外暴露試験と耐光 (耐候) 性試験機による試験との比較をするために、ABS樹脂汎用グレードについて、バージン材100%と再生材100%で成形した試験片で、耐光性試験機による紫外線照射試験を実施した。試験機は+Q-LAB社製キセノン促進耐候性試験機 Q-Sun Xe-1を使用した。試験条件は、屋外での暴露状態を想定して、温度管理はブラックパネル温度計で 63°Cに設定し、照射紫外線量は、デイライトフィルターを使用して、波長 300nm~400nm で 65W/m²で照射した。

2-5 色差測定

照射紫外線量の違いによる試験片の色味の変化を調べることを目的に、測色計 (日本電色工業(株)製 SD6000) で試験片の色味及びその経時変化を測定した。測定は試験片表面の反射光をSCI方式で計測した。SCI方式は、試験片表面の正反射光及び散乱光を評価する方式のため、素材そのものの色の評価に適している。評価は L*a*b*表色系で行い、暴露時間及び耐光性試験時間の経過ごとに L* (明度), a* (+: 赤方向, -: 緑方向), b* (+: 黄方向, -: 青方向) を測定して、暴露試験前のバージン材100%の試験片との色差 ΔL^* , Δa^* , Δb^* を求めた。なお、半透明である HDPE樹脂は、試験片の測定面の反対面に白色の紙を密着させて測定した。

2-6 強度評価方法

暴露・照射時間が試験片の強度に及ぼす影響を調べることを目的に、成形後暗所に保管した試験片と、屋外暴露時間2ヶ月、6ヶ月の試験片について材料試験 (引張試験) を実施し、荷重値と伸び量との関係性を評価した。試

験機は、精密万能試験機（株）島津製作所製オートグラフ AG-50kNIS）を用いた。引張速度は 2mm/min に設定して、室温で試験を行った。

3. 結果および考察

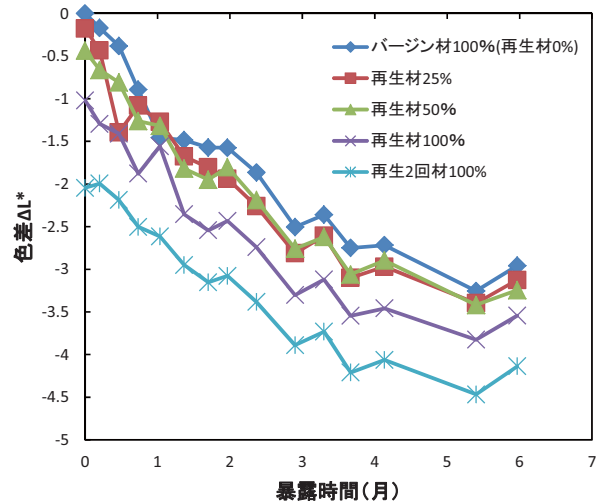
3-1 色差による評価

3-1-1 屋外暴露試験による影響

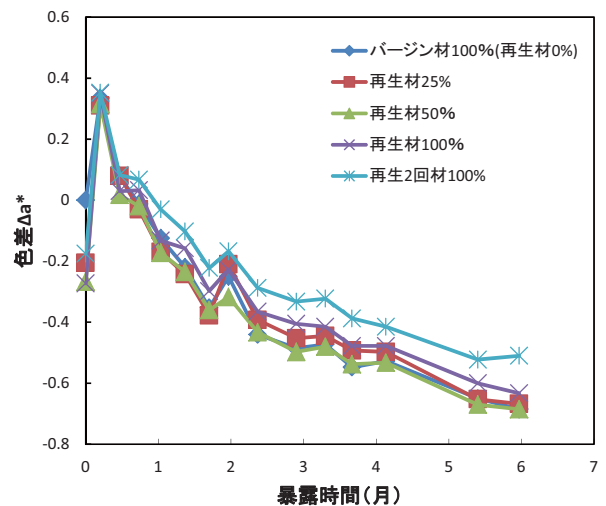
図 3、図 4 および図 5 に屋外暴露試験片の色差測定結果を示す。図の横軸は暴露開始時からの経過時間（月）を示し、縦軸は、暴露前のバージン材 100%の試験片の色味を基準とし、その基準との色差（ ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* ）を暴露時間ごとに計測した値を示している。

いずれの樹脂材料においても、再生材を混合したことによって、成形直後からバージン材 100%の成形品との色差が生じた。その後の暴露時間の経過による色味の変化は、屋外暴露開始直後に、一部の値で変動が大きい傾向があるが、暴露試験開始後、数週間経過してからは、一定方向に推移していく傾向があった。暴露時間に対する色味の変化の割合は、再生材の混合割合によらずに同程度であった。言い換えると、一定期間暴露したバージン材 100%の成形品に対する再生材を混合した成形品の色差の相対関係は、暴露期間によらずに同程度であった。また、暴露試験による色味の変化量が大きい傾向を示した ABS 樹脂汎用グレードの ΔL^* 及び Δb^* は、成形直後の試験片間に生じた色差も大きい傾向を示していた。このことから、屋外暴露による影響が大きい色味は、再生材の混合によっても影響を受けやすいと考えられる。

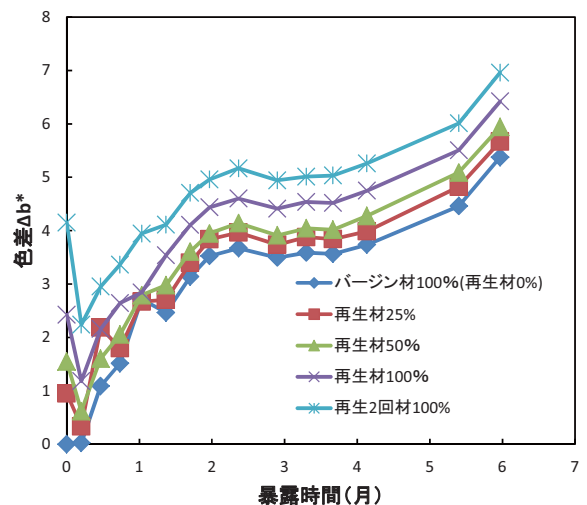
以上の結果より、6 ヶ月間の屋外暴露試験の場合、ABS 樹脂と HDPE 樹脂の、再生材が混合されたことによって生じる成形直後の色差が、暴露試験による色差の経時変化の割合と、一定期間暴露した後のバージン材 100%の成形品と再生材入りの成形品との色差の両方に影響を及ぼしていると考えられる。ただし、今後、より長期間の試験の実施と、他の樹脂材料についての検討を行っていく必要がある。



(a) ABS 樹脂汎用グレードにおける ΔL^*

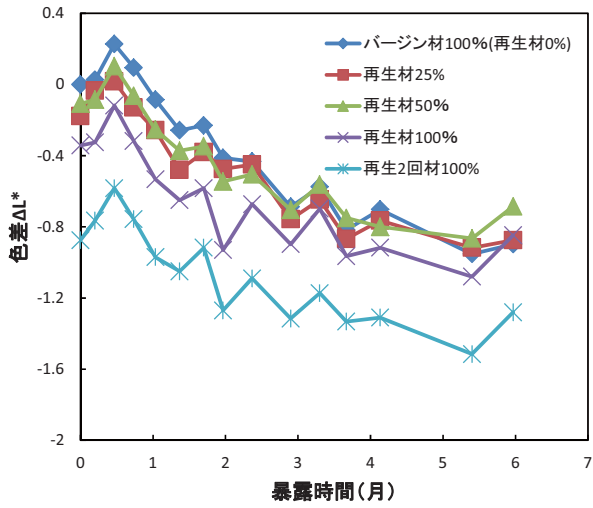


(b) ABS 樹脂汎用グレードにおける Δa^*

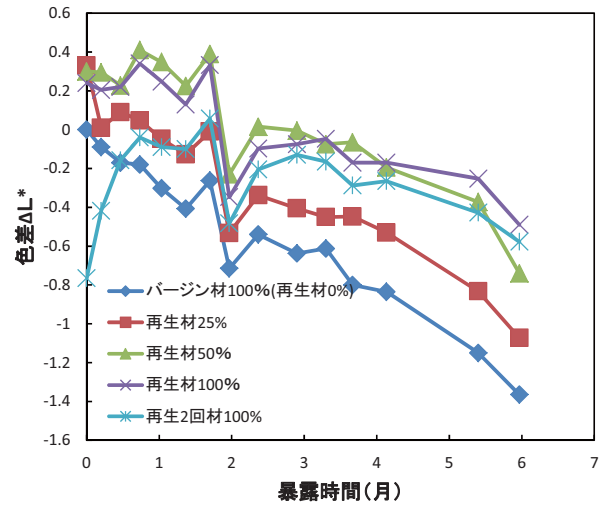


(c) ABS 樹脂汎用グレードにおける Δb^*

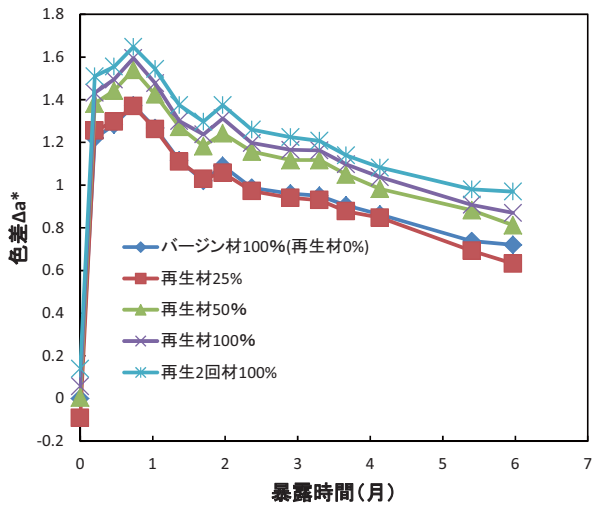
図3 屋外暴露試験片色差測定結果 (ABS 樹脂汎用グレード)



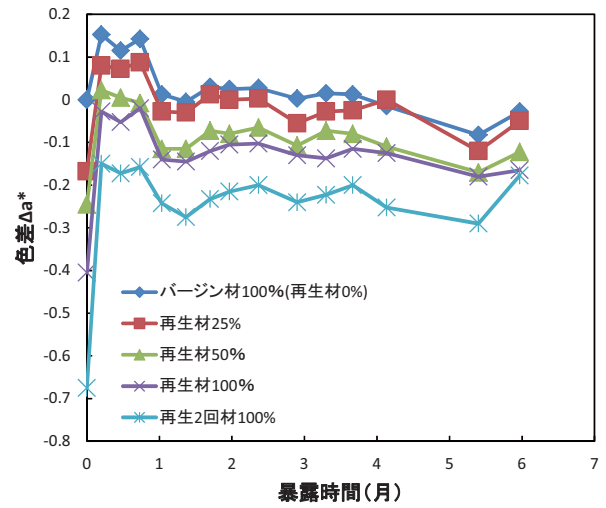
(a) ABS 樹脂耐光グレードにおける ΔL^*



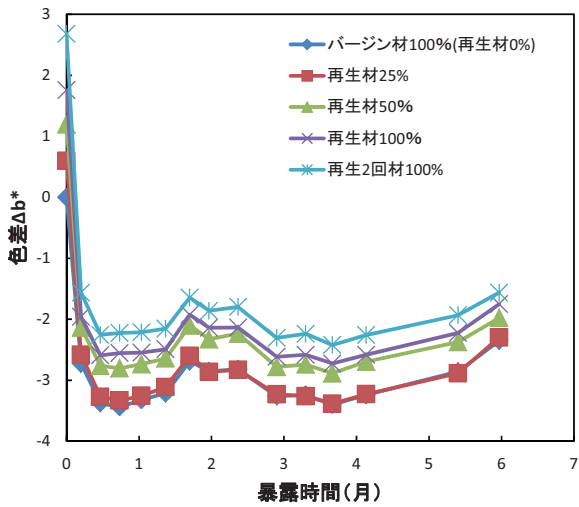
(a) HDPE 樹脂における ΔL^*



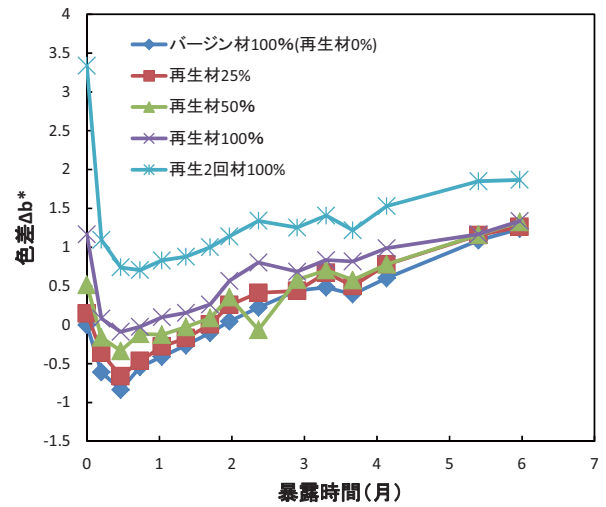
(b) ABS 樹脂耐光グレードにおける Δa^*



(b) HDPE 樹脂における Δa^*



(c) ABS 樹脂耐光グレードにおける Δb^*



(c) HDPE 樹脂における Δb^*

図4 屋外暴露試験片色差測定結果 (ABS 樹脂汎用グレード)

図5 屋外暴露試験片色差測定結果 (HDPE 樹脂)

3-1-2 耐光性試験機による紫外線照射試験片と屋外暴露試験片との比較

図 6 に耐光性試験機による紫外線照射試験片の色差の測定結果を示す。図の横軸は試験時間（時間）を示し、縦軸は、前節と同様にバージン材 100%で成形した試験片の紫外線照射前の色味を基準にした時の各試験片の色差（ ΔL^* 、 Δa^* 、 Δb^* ）を示す。

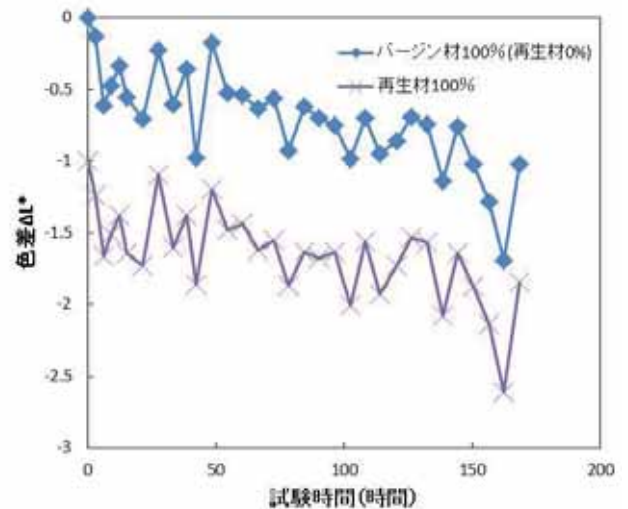
耐光性試験機による積算照射紫外線量を、屋外暴露試験架上で測定した積算紫外線量と比較し概算すると、本研究の条件においては、耐光性試験機で実施した試験時間 168.5 時間分は、屋外暴露試験約 4 ヶ月分に相当する値であった。色味の変化量を、屋外暴露試験片と耐光性試験機による紫外線照射試験片とで比較すると、色差 Δa^* 及び Δb^* で、変化の傾向及び変化量が比較的一致している結果となった。 ΔL^* については、耐光性試験機による紫外線照射試験片の変化量が、屋外暴露試験片の変化量に比べて小さい結果となった。これは、屋外暴露試験では、紫外線の他に風雨等の影響を受け、表面状態が荒れたため、表面の明度（ ΔL^* ）がより暗い方向に変化したと推測出来る。

3-2 強度試験による評価

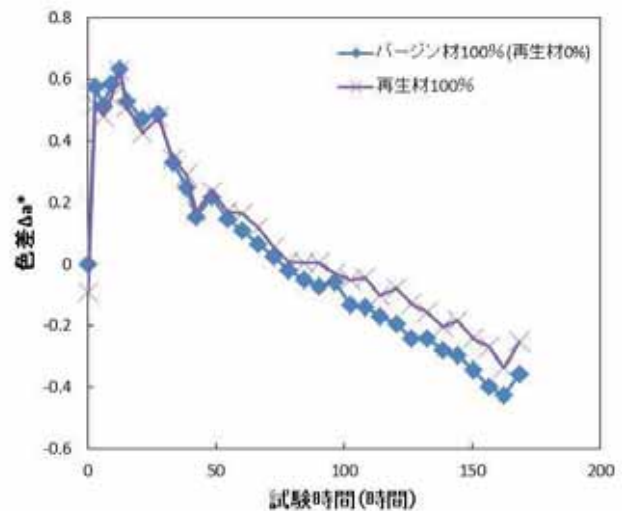
図 7 に屋外暴露試験片についての引張試験結果を示す。試験は、屋外暴露前、2 ヶ月間屋外暴露、6 ヶ月間屋外暴露した試験片について実施した。図の横軸に暴露時間（月）を、縦軸に最大荷重時の伸び（mm）を示す。

HDPE 樹脂の最大荷重時の伸び量は、成形直後から再生材の混合による影響が大きい。また、暴露時間の経過と共に最大荷重時の伸び量は減少していくが、成形直後に生じていた再生材とバージン材との差を同程度に保って推移する傾向が見られた。一方、ABS 樹脂の引張試験では、再生材の混合割合や暴露期間の経過によっては顕著な傾向が現れていないため、今後さらに長期間の暴露試験を実施して検証する必要があると思われる。

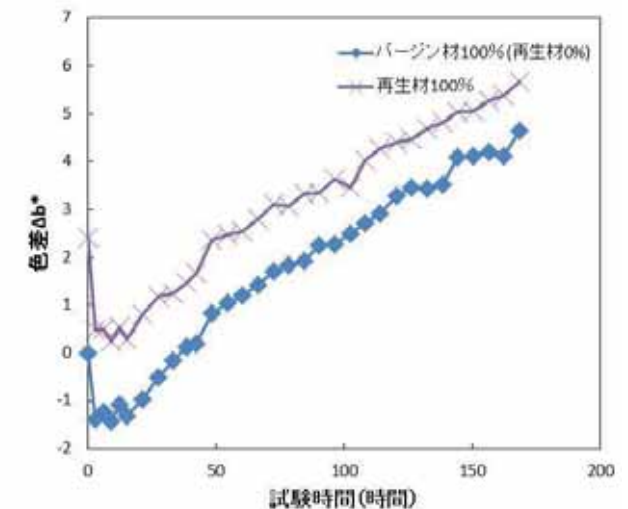
また、プラスチックでは、外観、伸び、引張強さの順に経時変化が顕著に現れることが報告されている²⁾。本研究においても、それぞれの試験片の引張強さを求めたところ、再生材の暴露時間と引張強さの間には顕著な傾向が見られなかった。



(a) ABS 樹脂汎用グレードにおける ΔL^*

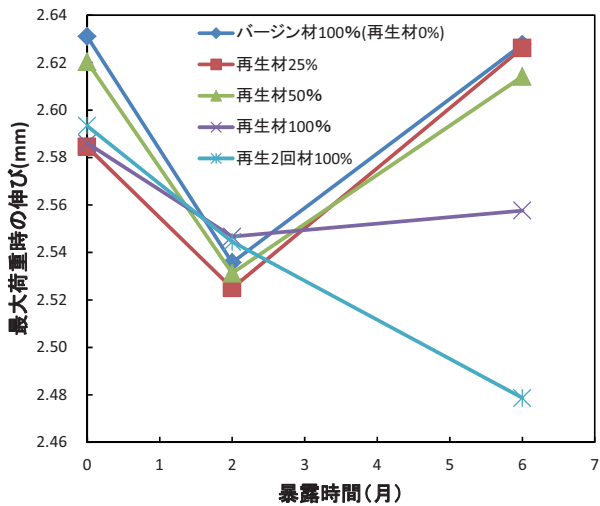


(b) ABS 樹脂汎用グレードにおける Δa^*

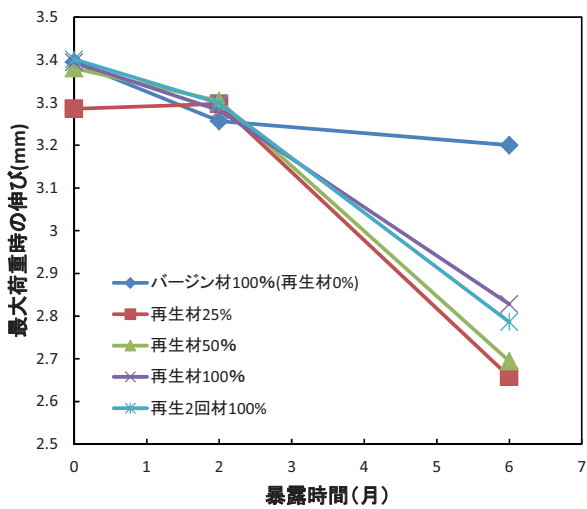


(c) ABS 樹脂汎用グレードにおける Δb^*

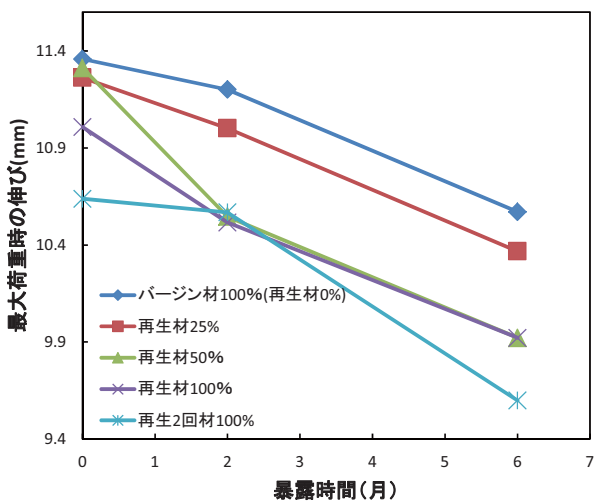
図 6 耐光性試験機による試験片の色差測定結果



(a) ABS樹脂汎用グレード



(b) ABS樹脂耐光グレード



(c) HDPE樹脂

図7 屋外暴露試験片についての引張試験結果

3-3 寿命予測

成形直後からバージン材 100%の成形品と再生材を混合した材料で成形した成形品との間に明らかな差が生じていた、ABS樹脂汎用グレードの ΔL^* 、 Δb^* や、HDPE樹脂の最大荷重時の伸び量の値は、屋外暴露試験による変化量も比較的大きい傾向であった。また、それらの値の暴露試験による経時変化は、成形直後に生じていたバージン材 100%の成形品との値の差を同程度に保って推移する傾向が見られた。したがって、本研究の樹脂材料について試験期間が6ヶ月程度の場合は、バージン材 100%の経時変化のデータが得られていれば、再生材を混合した際に生じる成形直後のバージン材 100%の成形品との差から製品寿命が概算出来ると思われる。今後は、より長期間の屋外暴露試験や他の樹脂材料によって検証を行い、再生材を使用した製品の寿命予測方法について検討を行っていく必要がある。

4. 結言

HDPE樹脂・ABS樹脂汎用グレード・ABS樹脂耐光グレードに対して再生材の混合割合を変えた試験片を作製し、6ヶ月間屋外暴露試験を実施した。これら試験片の色味の経時変化と、最大荷重時の伸び量の経時変化を測定した。また、ABS樹脂汎用グレードのバージン材100%と再生材100%で成形した試験片については、耐光性試験機による試験を行い、暴露試験結果と比較した。

得られた結果を以下に示す。

- (1) 屋外暴露試験での色味の変化では、上記のいずれの樹脂材料においても、再生材を混合したことによって、バージン材100%の成形品と成形直後から色差が生じた。その後、暴露時間の経過と共に色味が変化した。一定期間経過後、再生材が混合された成形品とバージン材100%の成形品との色差は、暴露試験前に生じていた色差を同程度に保って推移する傾向があった。
- (2) ABS樹脂汎用グレードの屋外暴露試験片と耐候性試験機による紫外線照射試験片（バージン材100%の試験片と再生材100%の試験片）の色味の変化について、積算照射紫外線量（屋外暴露期間約4ヶ月程度）を概算して比較したところ、屋外暴露試験片と耐光性試験機による紫外線照射試験片との間で、一定の相関が確認出来た。
- (3) 強度試験による評価結果では、HDPE樹脂の最大荷重時の伸び量は、暴露時間の経過と共に減少し、成形直後に生じていた再生材とバージン材との差を同程度に保って推移する傾向があった。