

研究論文

暴露試験における各種人工光源と太陽光の相関研究

深谷憲男*1、丹羽昭夫*2、松本 望*1、浅野春香*3

Correlative Study of Various Artificial Light Sources
and Light of the Sun in the Exposure Test

Norio FUKAYA*1, Akio NIWA*2, Nozomi MATSUMOTO*1 and Haruka ASANO*3

Owari Textile Research Center*1*2 Mikawa Textile Research Center*3

日常的に使われている低密度ポリエチレン（LDPE）フィルムを用いて、実暴露試験（屋外暴露及び屋内暴露試験）と促進暴露試験を行った。強度試験結果と暴露試験期間の相関式を導出し、その相関式の傾きから促進暴露試験の促進係数を算出した。この結果から、劣化の傾向を把握する場合は、実際の環境下の暴露試験と促進暴露試験の各々の測定が必要と思われた。

1. はじめに

高分子材料であるプラスチックや繊維製品は、軽く、加工をしやすいことから日常的に使用されている。一方、高分子材料は実際の使用環境下において劣化が起りやすい材料である。劣化の原因は、太陽光、気温変化、風雨など多様である。

そのため、品質保証と耐久性の確保が重要となる。このような高分子材料の耐久性を評価する方法の一つに耐候性試験が行われている。耐候性試験には、実際に製品を設置して確認する実暴露試験（屋外暴露及び屋内暴露試験）と試験機（人工光源）を用いた促進暴露試験方法がある。実暴露試験は、実際の環境下にさらすため結果が出るのに長期間を必要とする。

一方、促進暴露試験においては、大気環境中の特定因子の負荷を増大させた促進劣化が行われる。主に光源、降雨、温湿度といった因子を人工的に制御しながら試験を行う。

しかしながら、実際に使用される環境下での劣化との相関性が明確になっていないため、当センターにプラスチック製品等の耐候性に関する技術相談が多く寄せられている。そこで、これらの要望に対応するため、当センターでも独自のデータを収集及び提供することを目的として、実暴露試験及び促進暴露試験を実施し、強度試験を行い両者の相関性の検討し、促進係数の算出を行った。加えて、劣化予測を目的としてこのカルボニル基の生成量と強度劣化との相関性について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 試料

試料は、日常的に多く使われている汎用性のある低密度ポリエチレン（LDPE）フィルム（厚さ 0.1mm）を選定した。

2.2 実暴露試験

屋外暴露試験及び屋内暴露試験を尾張繊維技術センター（北緯 35 度、東経 136 度）で行った。設置方法は、以下のとおりとした。

・屋外暴露試験

尾張繊維技術センター屋上にて実施し、試料の向きは南面とし、水平に対する設置角度を 45 度とした。設置状況を図 1 に示す。平成 27 年 1 月 28 日から試験を開始し、試料は、3ヶ月、6ヶ月、9ヶ月、12ヶ月後に取り出した。なお、試料裏面にアルミ板を取り付けた。

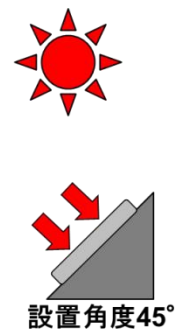
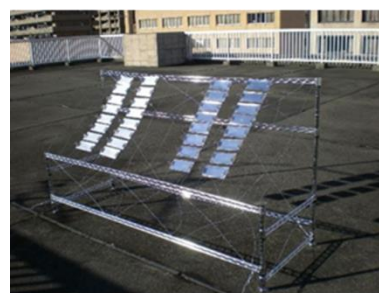


図 1 屋外暴露試験

・屋内暴露試験

尾張繊維技術センター 4 階南面にて実施し、試料は、ガラス窓に貼付し、水平に対する設置角度を 90 度とした。設置状況を図 2 に示す。平成 26 年 4 月 28 日から

*1 尾張繊維技術センター 機能加工室 *2 尾張繊維技術センター 機能加工室（現食品工業技術センター 保蔵包装技術室） *3 三河繊維技術センター 産業資材開発室

試験を開始し、試料は3ヶ月、6ヶ月、9ヶ月、12ヶ月、15ヶ月、18ヶ月、21ヶ月後に取り出した。

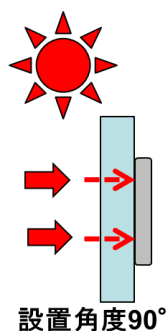


図2 屋内暴露試験

2.3 促進暴露試験

人工光源及び試験条件は以下のとおりとした。

- キセノンアークランプ式促進暴露試験

使用機器 SX75AP (スガ試験機(株)製)

BPT 63 ± 3 °C

湿度 $50 \pm 5\%RH$

屋外想定条件

放射照度 $180 \pm 2W/m^2$ (300nm~400nm)

フィルタ (内/外) 石英/#295

水噴霧 120分間中18分間噴霧

暴露時間 200、400、600、800、1000時間

屋内想定条件

放射照度 $162 \pm 2W/m^2$ (300nm~400nm)

フィルタ (内/外) 石英/#320

水噴霧 なし

暴露時間 200、400、600、800、1000時間

なお、試料裏面にステンレス板を取り付けた。

- メタルハライドランプ式促進暴露試験

使用機器 MV3000 (スガ試験機(株)製)

BPT 63 ± 3 °C

湿度 $50 \pm 5\%RH$

放射照度 $530 \pm 2W/m^2$ (300nm~400nm)

フィルタ (内/外) 石英/#255

水噴霧 屋外想定条件 120分間中18分間噴霧

屋内想定条件 水噴霧なし

暴露時間 20、40、60時間

なお、試料裏面にステンレス板を取り付けた。

- サンシャインカーボンアーク灯式促進暴露試験

使用機器 WEL - SUN - HCH・B (スガ試験機(株)製)

BPT 63 ± 3 °C

湿度 $50 \pm 5\%RH$

放射照度 $78.5 \pm 2W/m^2$ (300nm~400nm)

フィルタ JISB7753 Aタイプ

水噴霧 なし

暴露時間 200、400、600、800、1000時間

なお、試料裏面にアルミ板を取り付けた。

- 紫外線カーボンアーク灯式促進暴露試験

使用機器 U48AUHB (スガ試験機(株)製)

BPT 63 ± 3 °C

湿度 $50 \pm 5\%RH$

放射照度 $366 \pm 2W/m^2$ (300nm~400nm)

フィルタ JISB7751 ガラスグローブ

水噴霧 なし

暴露時間 200、400、600時間

なお、試料裏面に白色の厚紙を取り付けた。

2.4 強度試験

強度試験により、最大応力保持率及び最大応力点ひずみ保持率、降伏応力保持率、降伏ひずみ保持率の評価を行った。試験条件は以下のとおりとした。

使用機器 AG-10kNIS (株島津製作所製)

試料 短冊状 (110mm×10mm×0.1mm)

温湿度 $20^{\circ}C$ 、65%RH

つかみ間隔 50mm

引張速度 50mm/min

2.5 カルボニルインデックス (Carbonyl Index : CI)

フーリエ変換赤外分光光度計 (株島津製作所製 FTIR-8300) を用いて赤外吸収スペクトルを $2200cm^{-1}$ から $1600cm^{-1}$ の範囲で測定した。 $1715cm^{-1}$ 付近のカルボニル基及び $2020cm^{-1}$ 付近のメチレン基の吸光度を求め、次式によってカルボニルインデックスを算出した。

$$CI = A_{1715} / A_{2020}$$

CI : カルボニルインデックス

A_{1715} = $1715cm^{-1}$ 付近の吸光度

A_{2020} = $2020cm^{-1}$ 付近の吸光度

3. 実験結果及び考察

3.1 促進暴露試験と屋外暴露試験比較

促進暴露試験において、キセノンアークランプ式は1000時間まで実施したが、1000時間後の試料では、亀裂が激しく強度試験を行うことが出来なかった。メタルハライドランプ式は60時間実施した。屋外暴露試験は12ヶ月間実施した。

暴露試験における最大応力保持率推移結果を図3に示す。屋外暴露試験では、最大応力保持率は6ヶ月で約40%まで低下していた。それ以降は、あまり変化しなかった。一方、ひずみはその間も徐々に低下した(図4)。

降伏応力保持率については、各試験とも大きな変化はみられなかった。降伏ひずみ保持率は、各試験とも最大応力点ひずみ保持率と同様の傾向となった。さらに、強度試験結果と暴露試験期間の相関式を導出し、その相関

式の傾きから促進暴露試験の劣化の促進倍率を表す促進係数を算出した(表1)。

なお、屋外暴露試験での寄与率が、最大応力保持率は0.8538、最大応力点ひずみ保持率は0.9215、降伏応力保持率は0.02370、降伏ひずみ保持率は0.9509であった。降伏応力保持率は、寄与率が低かったため、促進係数の算出から除外した。他の保持率は、寄与率0.7を超えており高い相関性が確認された。

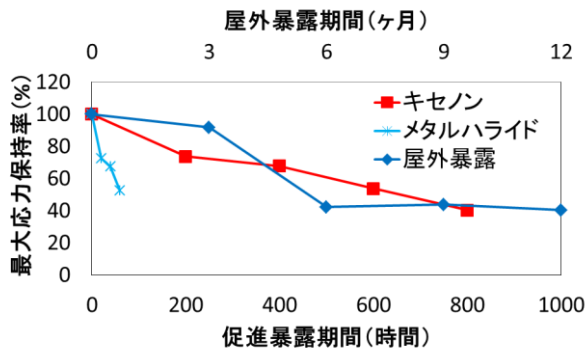


図3 暴露試験における最大応力保持率

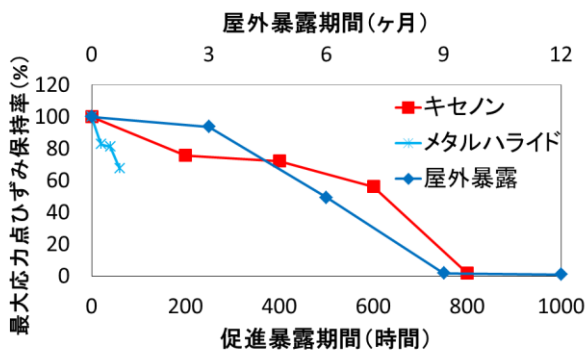


図4 暴露試験における最大応力点ひずみ保持率

表1 屋外暴露試験と促進暴露試験との促進係数

試験種類	項目	促進係数
キセノンアー クランプ式と 屋外暴露	最大応力保持率	5.3
	最大応力点ひずみ保持率	7.0
	降伏ひずみ保持率	7.1
メタルハライ ドランプ式と 屋外暴露	最大応力保持率	56
	最大応力点ひずみ保持率	32
	降伏ひずみ保持率	48

3.2 促進暴露試験と屋内暴露試験比較

促進暴露試験において、キセノンアークランプ式は1000時間、メタルハライドランプ式は60時間、サンシャインカーボンアーク灯式は1000時間、紫外線カーボ

ンアーク灯式は600時間、屋内暴露試験は21ヶ月間実施した。サンシャインカーボンアーク灯式は1000時間まで実施したが、1000時間後の試料では、亀裂が激しく強度試験を行うことが出来なかった。

暴露試験における最大応力保持率推移の結果を図5に示す。最大応力保持率において、各試験とも約40%まで低下すると値が一定となる傾向がみられた。サンシャインカーボンアーク灯式については800時間後には、劣化が激しくさらに低下していた。一方、屋内暴露試験を除き、ひずみ保持率は、停滞せずに徐々に減少していく傾向となった(図6)。

屋外暴露試験と同様に強度試験結果と暴露試験期間の相関式を導出し、その相関式の傾きから促進暴露試験の促進係数を算出した(表2)。なお、屋内暴露試験において寄与率が、最大応力保持率は0.9545、最大応力点ひずみ保持率は0.9380、降伏応力保持率は0.5632、降伏ひずみ保持率は0.8882となった。降伏応力保持率は、寄与率が0.7未満だったため、促進係数の算出から除外した。他の保持率は、高い相関性が確認された。

表2 屋内暴露試験と促進暴露試験との促進係数

試験種類	項目	促進係数
キセノンアー クランプ式と 屋内暴露	最大応力保持率	13
	最大応力点ひずみ保持率	39
	降伏ひずみ保持率	33
メタルハライ ドランプ式と 屋内暴露	最大応力保持率	230
	最大応力点ひずみ保持率	280
	降伏ひずみ保持率	200
サンシャインカ ーボンアーク灯 式と屋内暴露	最大応力保持率	23
	最大応力点ひずみ保持率	70
	降伏ひずみ保持率	44
紫外線カーボ ンアーク灯式 と屋内暴露	最大応力保持率	25
	最大応力点ひずみ保持率	44
	降伏ひずみ保持率	25

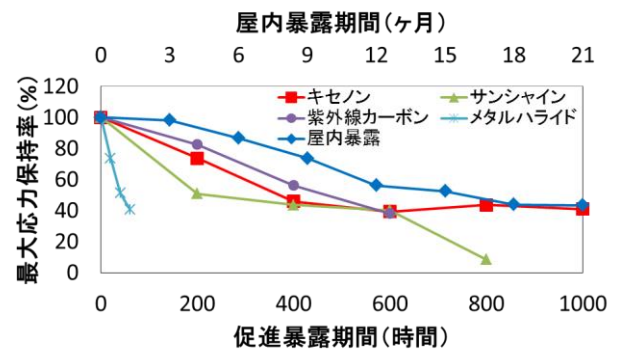


図5 暴露試験における最大応力保持率

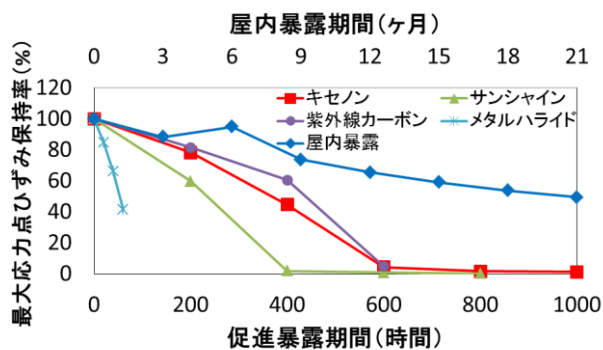


図6 暴露試験における最大応力点ひずみ保持率

3.3 カルボニルインデックス

カルボニル基の生成量と強度試験との相関性について検討を行った。応力保持率では、ある程度劣化すると一定の値を示すため、ひずみ保持率で相関性を検討することが適切と考えた。促進暴露試験では、促進係数が大きいメタルハライドランプ式の暴露試験について検討を行った。屋外及び屋内暴露試験メタルハライドランプ式の暴露試験における CI とひずみ保持率との相関関係について図7～図10に示す。屋外暴露の寄与率は、最大応力点 0.9350、降伏点 0.9442、屋内暴露の寄与率は、最大応力点 0.7896、降伏点 0.8982、メタルハライドランプ式の屋外想定条件の寄与率は、最大応力点 0.9901、降伏点 0.9785、メタルハライドランプ式の屋内想定条件の寄与率は、最大応力点 0.9845、降伏点 0.9707 と高い相関性が確認された。

屋内暴露試験より屋外暴露試験の方が同じ CI の値でも、ひずみ保持率の低下が大きい傾向となった。一方、メタルハライドランプ式においては、屋外想定条件よりも屋内想定条件の方が、劣化が進む傾向となった。この原因は、短時間で強い光のエネルギーを与える場合では、水の噴霧が試料を冷却してしまい劣化が抑制されたのではないかとと思われる。また、メタルハライドランプ式の促進暴露試験の CI の値が実暴露試験の結果と比べて低い値の段階でもひずみ保持率が低下していたため、CI の値では絶対評価は難しいことがわかった。

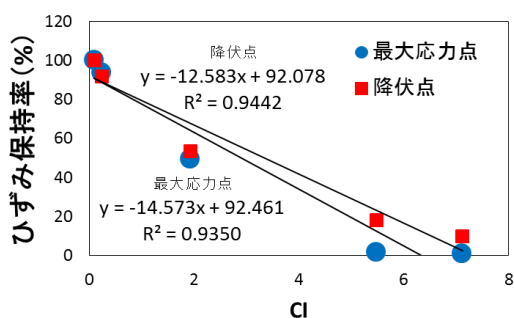


図7 屋外暴露試験における CI とひずみ保持率

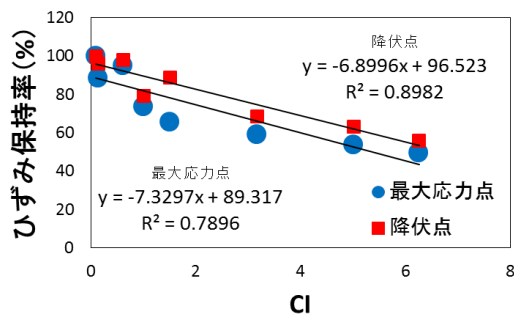


図8 屋内暴露試験における CI とひずみ保持率

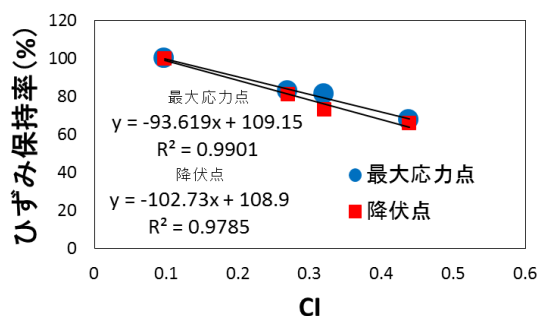


図9 メタルハライドランプ式の屋外想定条件の暴露試験における CI とひずみ保持率

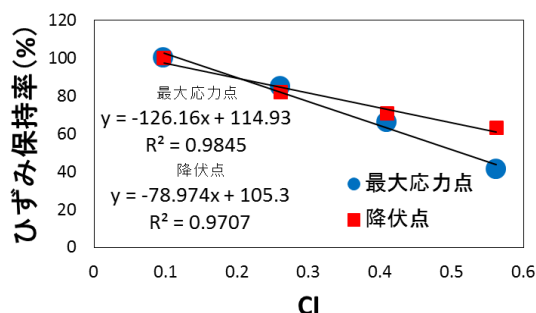


図10 メタルハライドランプ式の屋内想定条件の暴露試験における CI とひずみ保持率

4. 結び

日常的に使われている低密度ポリエチレンフィルムを用いて、実暴露試験（屋外暴露及び屋内暴露試験）と促進暴露試験を行った。各暴露試験後の試料の強度試験結果と暴露試験期間の相関式を導出し、その相関式の傾きから促進暴露試験の促進係数を算出した。

応力保持率では、ある程度劣化すると一定の値を示すため、ひずみ保持率と CI の値との相関性を検討したところ、高い相関性が確認された。しかしながら、促進暴露試験の CI の値が実暴露試験の結果と比べて低い値の段階でもひずみ保持率が低下していたため、CI の値では絶対評価が難しいことが判明した。劣化予測をする場合は、実暴露試験と促進暴露試験が必要と思われる。