

プラスチック劣化の定量評価手法の検討

Examination of a quantitative evaluation method of plastic deterioration

長尾 裕一
Yuichi NAGAO蓮井 堅佑*
Kensuke HASUI河村 勇佑**
Yusuke KAWAMURA

要 旨

環境要因がプラスチックの劣化に与える影響を明らかにすることで、マイクロプラスチックが発生する前に効率的なプラスチックごみの回収につながることを期待した。代表的なプラスチックであるポリエチレン、ポリプロピレンのフィルムを用いて、紫外線照射や加温で人工的に試料片を劣化させる促進試験、太陽光で試料片を劣化させる屋外暴露試験を行った。

促進試験では、同じ紫外線量では温度の高い方が劣化しやすく、同じ温度では紫外線量が高い方が劣化しやすいことから、紫外線と熱が重要であると考えられるが、熱だけ加えても紫外線がなければ劣化しない事も確認できた。屋外暴露試験では、気温の高くなる夏季で2~6か月で脆くなり、マイクロプラスチックになりやすい状態まで劣化することが確認できたことから、劣化しやすい夏季を迎える前に清掃活動を行うことが重要であると考えられる。

Abstract

By clarifying the effects of environmental factors on the deterioration of plastics, we believe that our findings will lead to the efficient collection of plastic waste before the generation of microplastics. Acceleration tests using a film of polyethylene or polypropylene, which are typical plastics, in which a sample piece is either artificially deteriorated by ultraviolet irradiation or heating, or the sample piece is deteriorated by sunlight were carried out. An outdoor exposure test was performed. In the accelerated test, it was found that both ultraviolet rays and heat play an important role in plastic deterioration because the higher the temperature is, the more likely the sample is to deteriorate at a constant level of exposure to ultraviolet rays, and the stronger the level of exposure to ultraviolet rays, the more likely the sample is to deteriorate at a constant temperature. It was also confirmed that the sample would not deteriorate in the absence of ultraviolet rays. In the outdoor exposure test, it was confirmed that in the summer, when the temperature is high, the sample becomes brittle within 2 to 6 months and deteriorates to a state where it is easy to deteriorate into microplastics. For this reason, we determined that it is important to carry out cleaning activities before the summer.

キーワード：プラスチック劣化 マイクロプラスチック ポリエチレン ポリプロピレン

I はじめに

香川県海域の海ごみは、大半がプラスチック類などの生活ごみであることから、陸域・海域一体となった海ごみ対策を実施している¹⁾。その中で世界的問題になっているのがマイクロプラスチック(以下MPという)であり、環境中で微細化したものは回収が困難なことから、環境要因がプラスチックの劣化に与える影響を検討し、効率的なプラスチックごみの回収につながることを期待した。

プラスチックの消費原材料で割合を大きく占めているのがポリエチレン(以下PEという)、ポリプロピレン(以下PPという)であることから²⁾、この2種類のフィルム

を用いて環境要因(紫外線、熱)が及ぼすプラスチックの劣化の検討を行ったので報告する。

II 方法

1. 促進試験

紫外線照射器、ホットプレート、インキュベータを用いて、紫外線量、温度を任意に設定し、試料片の劣化具合を評価した(図1)。

2. 屋外暴露試験

当センター屋上にてアクリル板に試料片を固定させ(図2)、太陽光等環境中での劣化具合を評価した。温度

の違いを検討するため、黒色と白色の亚克力板を用いて実施した。

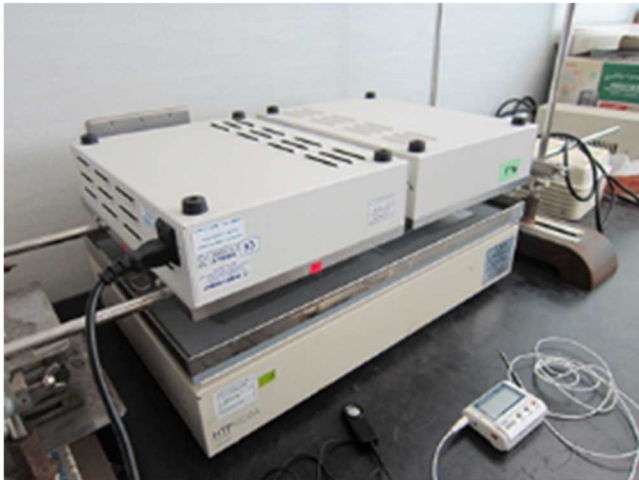


図1 促進試験



図2 屋外暴露試験

3. 評価方法

ダンベル状8号形に切り抜いたものを試料片とし、50N用の引張試験機で50mm/分の速度で引っ張り、引張強度(MPa)を用いて評価した³⁾(図3)。なお、PE、PPとも厚みの違うものについても試験を行った。



図3 試料片と引張試験の様子

4. 地形別調査

プラスチックごみが落ちていると想定される場所でも試験結果と同様に劣化するのかを推測するため、アスファルト、コンクリート、草地、砂浜、石・岩の各地形において、正午から13時における温度を測定した。

III 結果及び考察

1. 促進試験

(1) プラスチックの厚さの違いによる結果

PEについては、厚さ20 μ m、50 μ m、80 μ mで試験した結果を図4～図6に、PPについては、厚さ30 μ m、60 μ m、180 μ mで試験した結果を図7～図9に示す。紫外線量はUV計(mW/cm²)で測定した値である。

PEについては、紫外線量1.0(mW/cm²)、60 $^{\circ}$ Cで試験した厚さの薄い20 μ mでは2日経過した時点で、測定できない程に脆くなっていることから、紫外線量が同じ場合、厚さの薄い方が熱の影響を受けやすく早く劣化することが確認できた。また、厚さに関係なく紫外線が当たらない場合には、60 $^{\circ}$ Cであっても引張強度がほぼ変わらないことから、熱を加えても紫外線が当たらなければ劣化しないことも確認できた。

PPについては、厚さ60 μ mは引張強度が大きすぎるため、50N用引張試験機では測定できなかったため、ある程度劣化した状態からの結果になった。厚さ180 μ mにおいては、紫外線量1.0(mW/cm²)、60 $^{\circ}$ Cで試験したもので2日、30 $^{\circ}$ C及び45 $^{\circ}$ Cで試験したもので4日経過した時点で測定できない程脆くなった。厚さの大きい方が劣化する速度が速い結果となったが、素材が厚く硬くなる程、伸縮性が乏しくなることから、引張試験の性質上、割れやすくなると考えられる。また、PEと同様に、熱を加えても紫外線が当たらなければ劣化しないことも確認できた。

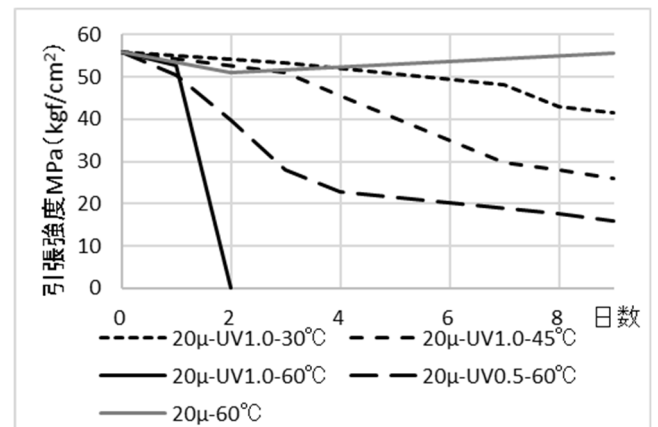


図4 PE厚さ20 μ mの促進試験結果

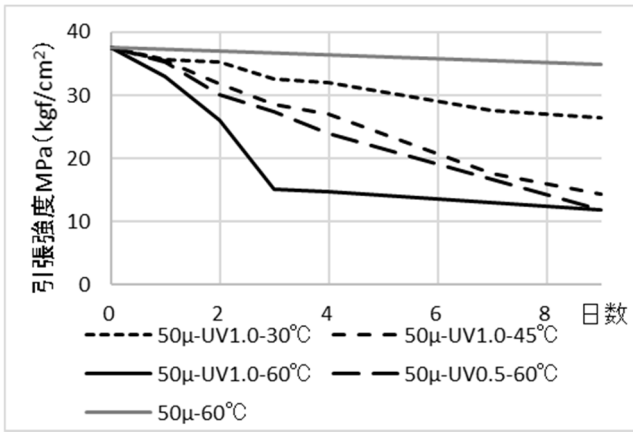


図5 PE厚さ50μmの促進試験結果

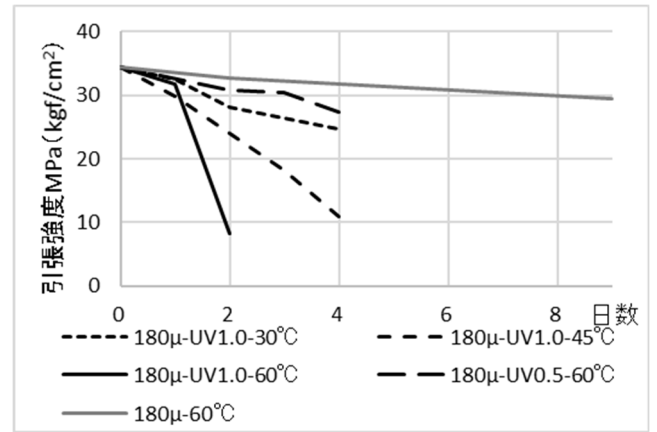


図9 PP厚さ180μmの促進試験結果

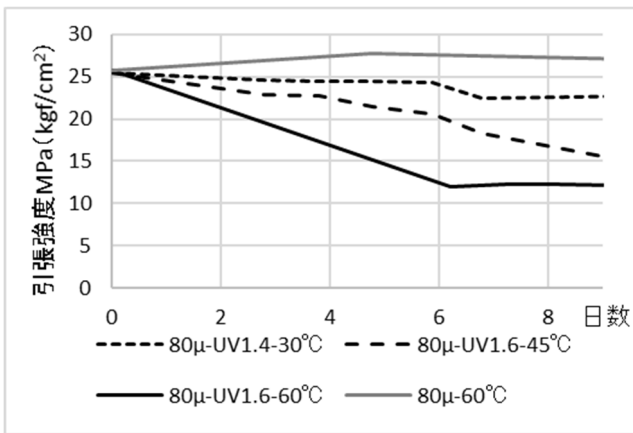


図6 PE厚さ80μmの促進試験結果

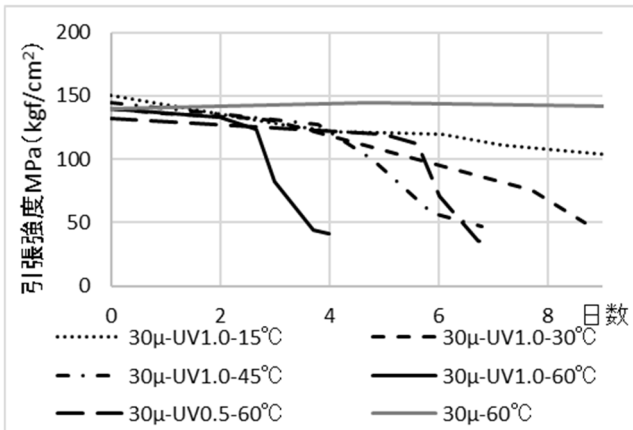


図7 PP厚さ30μmの促進試験結果

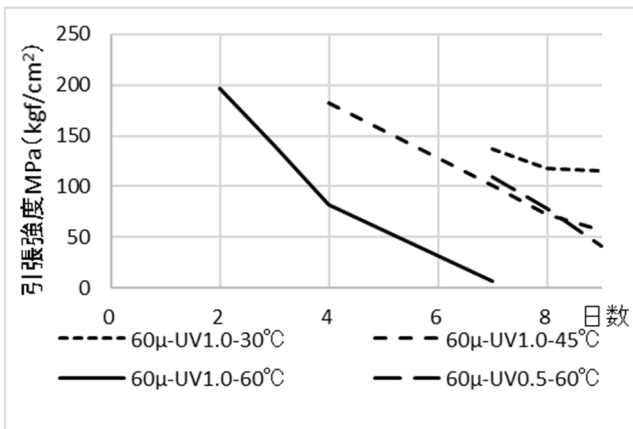


図8 PP厚さ60μmの促進試験結果

(2) 劣化予測の検討結果
 紫外線量 1.0mW/cm²で固定したもの、温度 60°Cで固定したものについて、PP30μmを用いて促進試験を行い、環境要因と経過時間から劣化速度を予測する小池・田中モデル式⁴⁾を参考に、実測値と計算値を比較した。結果については、類似した劣化速度を示した(図10、図11)。

$$\ln(P_0/P) = Cu \cdot (Ut)^\alpha \exp(-E/RT)$$

U: 紫外線量(mW/cm²) T: 温度(K) t: 時間

Cu・α: 紫外線劣化特性値

E: 劣化の活性エネルギー R: 気体定数

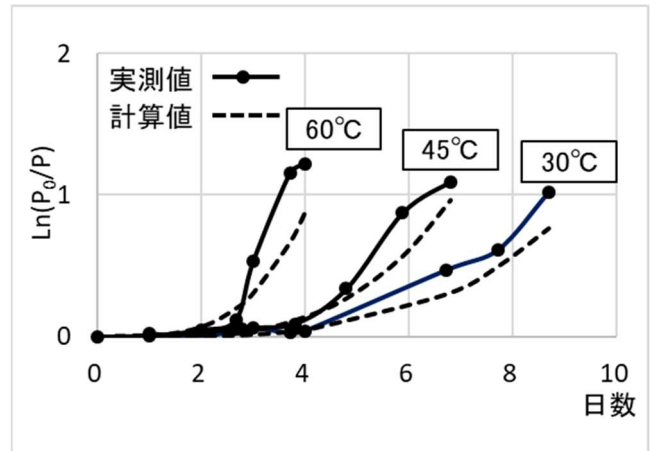


図10 紫外線量 1.0mW/cm²における劣化速度の比較

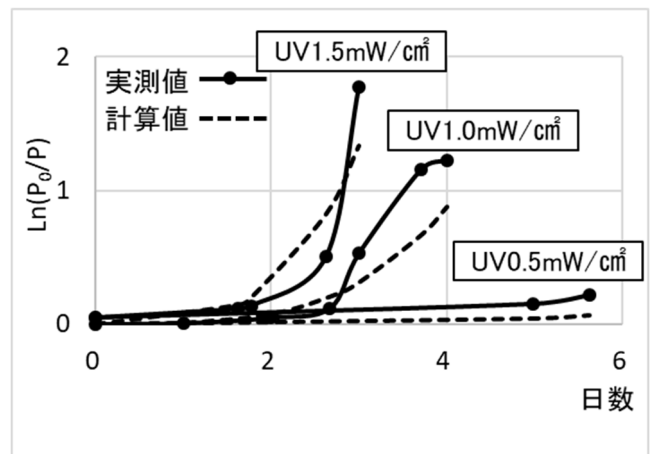


図11 温度 60°Cにおける劣化速度の比較

2 屋外暴露試験

長期間実施していたPE厚さ80 μm とPP厚さ30 μm の結果について図12、図13に示す。黒いアクリル板の方が白いアクリル板より温度が20 $^{\circ}\text{C}$ 近く高くなっている時期もあり、黒いアクリル板に貼り付けた試料片の方が早く劣化している。また、雨風、温度変化等気象の影響もあると思われるが、高温になる時期に劣化が進むことが確認でき、高温になる夏季において厚さ30 μm では、黒いアクリル板で2か月程度、白いアクリル板で6か月程度で脆くなる結果となった。

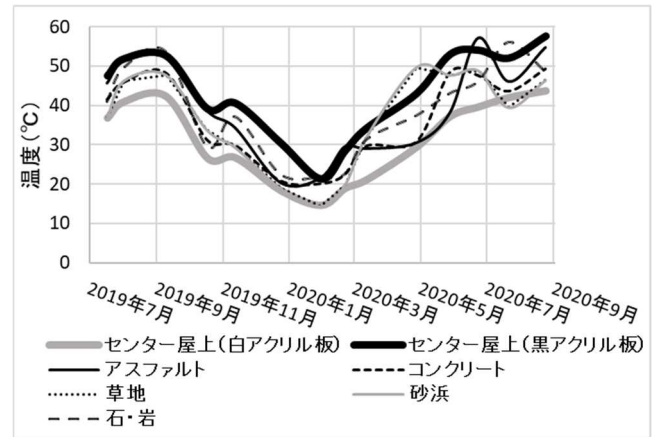


図14 各地形における温度の結果

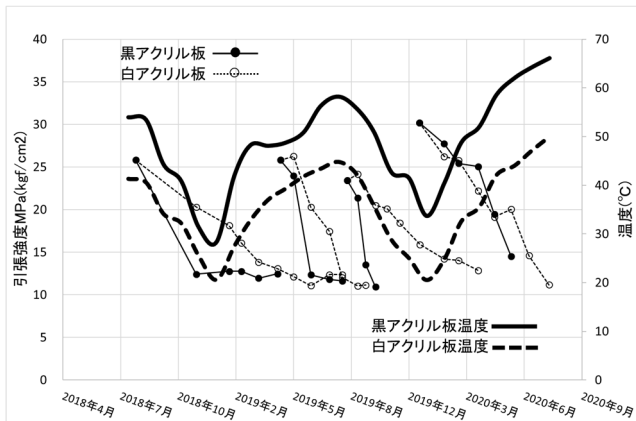


図12 PE厚さ80 μm の屋外暴露試験結果

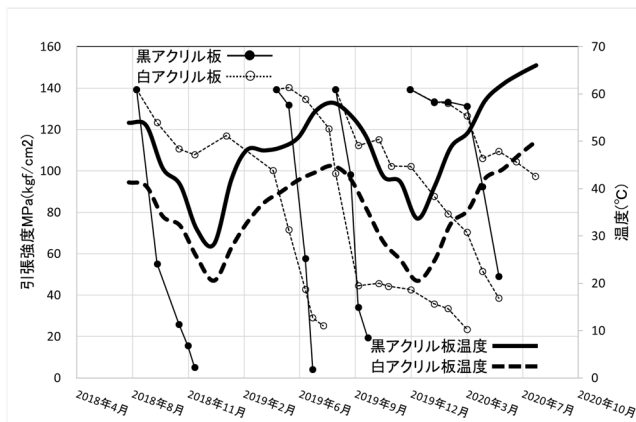


図13 PP厚さ30 μm の屋外暴露試験結果

3 地形別調査結果

アスファルト、コンクリート、草地、砂浜、石・岩の各地形の温度は、当センター屋上で実施した屋外暴露試験の黒アクリル板と白アクリル板の温度範囲内で推移している(図14)。このことから、各地形の条件下でも屋外暴露試験と同様に劣化が進むと考えられる。

IV まとめ

プラスチックの劣化については、紫外線(太陽光)、熱(気温)、水分、結露(湿度)、乾燥による影響を評価することが多い^{5) 6) 7)}が、今回の試験では紫外線(太陽光)と熱(気温)で評価した。

紫外線と熱で劣化する速さに影響があるとともに、紫外線が当たらなければほとんど劣化しないことが確認できたことから、プラスチックが劣化するためには紫外線が重要であると考えられる。

このことから、MPを効率的に減らすためには、MPの生成が促進される夏季を迎える前に、プラスチックごみの清掃活動を行うことが重要であると考えられる。

謝辞

本研究を進めるにあたり、香川県産業技術センター研究員の皆様には機器を使用させていただき、深く感謝申し上げます。

文献

- 1) 香川県環境管理課里海グループ：香川県における海ごみ実態調査結果(R2年度)の報告,(2021)
- 2) 経済産業省：生産動態統計年報,紙・印刷・プラスチック製品・ゴム製品統計編,原材料統計
- 3) JIS K7127:プラスチック—引張特性の試験方法第3部(1999)
- 4) 富坂崇：発展型アレニウスモデルと環境劣化因子データベースを結合した特性変化シミュレーション手法,マテリアルライフ学会誌,14[3],134-140,(2002)
- 5) 富坂崇,檉野紀元：我が国における気温補正結露マップの提案 高分子系建築材料の耐久性に関する研

- 究(その3), 日本建築学会構造系論文集, 405, 1-7, (1989)
- 6) 富坂崇: 気象データに基づく全国劣化因子マップ, 日本ゴム協会誌, 68, 5, 307-317, (1995)
- 7) 高根由充, 榎野紀元, 渡辺寧, 富坂崇: 耐候性評価用リファレンス試験片による屋外暴露環境の定量評価, 日本建築学会構造系論文集, 578, 13-20, (2004)