

プログラム名：超薄膜化・強靱化「しなやかなタフポリマー」の実現

PM名：伊藤 耕三

プロジェクト名：タイヤ薄ゲージ化プロジェクト

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平成29年度

研究開発課題名：

タフポリマー開発のためのエラストマーの非線形粘弾性

および亀裂進展機構の解析

研究開発機関名：

国立大学法人京都工芸繊維大学

研究開発責任者：

浦山 健治

I 当該年度における計画と成果

1. 当該年度の担当研究開発課題の目標と計画

- ・カーボンブラック充填エラストマーについて電気伝導度測定を組み合わせた二軸伸長測定を行い、様々な変形モードにおけるフィラー網目構造の崩壊と非線形力学挙動の相関を明らかにする。
- ・伸長結晶性エラストマーのマリンス効果を様々な変形モードで調べ、非結晶性エラストマーの挙動と比較することにより、伸長結晶性がエネルギーロスに及ぼす効果を解明する。
- ・これらのエラストマー系の亀裂進展速度 (v) の転移現象およびそれに伴う亀裂近傍のひずみ場およびひずみ速度の変化を粒子画像流速計測法 (PIV 法) によって明らかにする。伸長結晶性が、速度転移が生じる入力エネルギーのしきい値に与える影響を調べ、伸長結晶性がエラストマーの亀裂進展を抑制するかどうか、および亀裂先端のひずみ場にどのような影響を与えるかを明らかにする。

2. 当該年度の担当研究開発課題の進捗状況と成果

2-1 進捗状況

1) カーボンブラック充填エラストマーの様々な伸長モード下での電気伝導度と張力の同時測定

目標を達成するには、様々な二軸伸長場で電気伝導度と張力を同時に測定できる測定系を確立する必要がある。現有の二軸伸長測定装置でひずみを加えられた試料シートに伝導度測定のための電極をどのように配置するかという点について、試行錯誤を繰り返し、定量的なデータが得られる測定系を確立した。

2) 伸長結晶性エラストマーおよびダブルネットワークゲルの様々な伸長モード下のマリンス効果

伸長結晶性エラストマーのマリンス効果の測定に着手したが、変形中に複雑な構造変化を伴い、測定や解析が非常に複雑になることがわかった。このため、伸長結晶性エラストマーよりも先に、マリンス効果が単純な高分子鎖の切断のみに由来し測定がより簡便になるダブルネットワーク (DN) ゲルのマリンス効果の研究を行なった。本プログラム内の研究者である Gong 教授 (北海道大学) から DN ゲルの試料提供をうけ、マリンス効果を様々な変形モードで調べ、一連の測定と解析を完了した段階にある。

3) PIV 法による亀裂近傍の局所ひずみ場の定量化

PIV 法により、フィラー充填エラストマーの亀裂速度転移現象に伴う亀裂近傍のひずみ場の変化を定量化した。より高い精度の測定を目指しランダムドットパターンの最適化に時間を費やしたため、伸長結晶性エラストマーを試料に用いた測定の着手には至らなかった。

2-2 成果

1) カーボンブラック充填エラストマーの様々な伸長モード下での電気伝導度と張力の同時測定

確立した測定系を用いて、高充填量 (40phr) のカーボンブラック充填エラストマーを均等二軸伸長 (EB)、平面伸長 (PE)、一軸伸長 (U) の 3 つの伸長モードにおいて、ひずみ量を変数とした伝導度と張力の同時測定を行なった。どの伸長モードでも、あるひずみに達すると急激に伝導度が減少する挙動が観察された。この伝導度の減少は、フィラー網目構造の大規模な崩壊を表している。伝導度の急激な

減少が起こる臨界ひずみの大きさは、伸長モードに依存し、 $U > PE > EB$ の順となった。これは同じひずみで比較すると、全変形量は $EB > PE > U$ の順になることに対応している。また、この臨界ひずみの近傍で応力-ひずみ曲線が変曲点を生じており、その原因がフィラー網目構造の崩壊にあることを裏付けている。

2) 伸長結晶性エラストマーおよびダブルネットワークゲルの様々な伸長モード下のマリンス効果

DN ゲルのマリンス効果を異方性の程度が異なる数種類の二軸伸長変形を用いて調べた。最大ひずみ(λ_m)を逐次増加させていく荷重-除荷重試験により、各サイクルの損失エネルギー(D)および損失因子(Δ) (損失エネルギーの入力エネルギーに対する割合)を λ_m の関数として評価した。同じ λ_m で比較すると、 D および Δ は $EB > PE > U$ の順に大きくなったが、 Δ はひずみテンソルの大きさに相当する m を変数に用いると、伸長モードに関係なく Δ - m 関係は一本の曲線で表せることを見出した。この特性は、前年度までに同測定で見出されていたフィラー充填系エラストマーの結果とは異なっており、DN ゲルのひずみによる内部破壊では軸間のひずみの交叉効果が大きいことを示している。

3) PIV 法による亀裂近傍の局所ひずみ場の定量化

PIV 法により、フィラー充填エラストマーの亀裂速度転移現象に伴う亀裂近傍のひずみ場を定量化した。Slow mode と Fast mode を比較すると、亀裂の進展方向と垂直方向のひずみ分布に特徴的な違いがあることを見出した。すなわち、Slow mode では局所ひずみが亀裂先端で最大となる一峰分布を示すのに対し、Fast mode では二峰分布になることがわかった。速度転移の前後でひずみ分布に顕著な違いが生じる原因については定量的な説明はできていないが、Fast mode での著しい非線形弾性の効果に由来すると推測される。

2-3 新たな課題など

1) カーボンブラック充填エラストマーの様々な伸長モード下での電気伝導度と張力の同時測定

本格的なデータの取得はおおよそ完了しているが、伝導度と力学物性の関連付けについてデータの解析が不十分である。データ取得を完了するとともに、より定量的な解析を行う。

2) 伸長結晶性エラストマーおよびダブルネットワークゲルの様々な伸長モード下のマリンス効果

測定と解釈がより単純な DN ゲルの測定を優先し、当初計画していた伸長結晶性エラストマーの測定が未完であるため、本格的に測定に着手する。

3) PIV 法による亀裂近傍の局所ひずみ場の定量化

局所ひずみ場の高精度のデータ取得はできるようになったが、データの定量的な解釈についてはどのようなアプローチが有効であるか検討を要する。また、未着手であった伸長結晶性を持つエラストマーに対して同測定を行いたい。

3. アウトリーチ活動報告

特になし。