

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：破壊機構の分子的解明プロジェクト

委 託 研 究 開 発

実 施 状 況 報 告 書 (成 果)

平 成 2 8 年 度

研究開発課題名：

印象派物理学によるタフポリマー開発の指導原理の構築

研究開発機関名：

国立大学法人お茶の水女子大学

研究開発責任者

奥村 剛

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

本研究では、タフポリマー開発に深く関係した、複合材料・高分子シート材料・多孔体の破壊・高分子材料の粘性散逸等に関し、ある種の極限に着目することで枝葉末節を排して物理的本質をシンプルに導き出すことを目指す。このような「印象派物理学」の実践例を通して、トライアル・アンド・エラーで主導されてきた企業での研究開発に現れるようなやっかいな現象にも、シンプルな法則が潜んでいることを示し、物理原理を理解した上での開発遂行の幅広い可能性を多角的に示す。

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) 天然複合材料の強靱化機構の解明

この研究項目では、(A)「真珠層強靱化機構における非線形効果」と (B)「クモの巣の強靱化機構における非線形効果」の研究を進めることで、多様な複合材料の強靱化機構を明らかにしてきた。本年度は、真珠層について、非線形ネットワークモデルに亀裂を入れて伸長した場合の計算をシステムサイズを大きくして系統的に進めた。クモの巣については、いくつかのタイプの非線形性を組み入れた計算を進め、どのような着眼点がふさわしいかを検討した。

(2) 高分子シート材料の破壊機構の解明

本研究項目においては、G1-2 共通課題検討会やブリヂストンとの個別ミーティングを通し、タイヤゴムの強靱化機構の解明を目指して研究を進めてきた。本研究開発において、マクロな観点から、(A)「強塑性ポリマーシートの特異的な破壊機構」と (B)「高分子フォーム固体の破壊機構」について研究してきた。本年度は、(B)のポリマーフォームシートについて、いままで得てきた亀裂進展の実験データの物理的解釈を得るために、本格的にレオロジー測定を開始した。

(3) 多孔性材料の破壊機構の解明

本研究項目においては、G1-2 共通課題検討会やブリヂストンとの個別ミーティングを通し、ネットワークモデルを含む多孔性物質全般の強靱性や力学的性質を研究してきた。H27年度からは、三菱樹脂からサンプル提供を受けた研究も開始し、本年度、三菱樹脂とも定期的に個別ミーティングを重ねてきた。(A)「多孔シートの破壊機構の解明」においては、孔を規則的に配置した紙(切り紙)やゴム・プラスチック材料を使い、微細加工技術も利用して、力学特性について研究を進め、技術の新規性についても検討を重ねてきた。三菱樹脂のサンプルを使った実験は、本年度、亀裂進展と破壊応力に着目し、二つの独立した実験を開始した。(B)「ネットワークモデルを使った多孔性物質の強靱化機構の解明」においては、ネットワークモデルを使って、多孔性物質のシミュレーション研究を行い、穴のサイズと破壊強度の間のスケール法則を確立してきた。H27年度より開始したブリヂストンのゴム開発に深く関係する亀裂進展の動力学に関するネットワークシミュレーションも継続した。このシミュレーションモデルにヒントを得て開始した、亀裂進展の解析モデルによる研究も継続した。

(4) 高分子薄膜における粘性散逸機構の解明等

タフポリマー開発に関わる研究者に印象派物理学の手法の有用性を多角的に示すために、印象派物理学の実践例として分かり易くインパクトのある研究についても幅広く取り組んできた。この項目では、(A)「ヘレシヨウセル中の液滴動力学における散逸機構」と(B)「微細加工表面における濡れ現象における粘性散逸機構」に広い意味で関連する研究を行ってきた。本年度も、液滴に働く粘性抵抗、これに関連し高分子のガラス転移にも深くかかわる粉体動力学、粘性散逸に着目したバブルの破裂・融合、そして、微細加工表面上での滴の形状変化について研究を進めた。

2-2 成果

(1) 天然複合材料の強靱化機構の解明

(A)「真珠層の強靱化機構における非線形効果」においては、システムサイズを大きくした場合の基礎的な計算結果を得た。今後、計算も継続しつつ物理的解釈を検討する。(B)「クモの巣の強靱化機構における非線形性」については、試験的な計算を進め、どのような着眼点があるかを明らかにした。今後、着眼点を絞り、計算を進める。

(2) 高分子シート材料の破壊機構の解明

特に、(B)「高分子フォーム固体の破壊機構の解明」について、ポリマーフォームシートのレオロジー特性の詳細を明らかにした。今後、亀裂進展の実験結果と比較して、物理的解釈について検討する。

(3) 多孔性材料の破壊機構の解明

(A)「多孔シートの破壊機構の解明」については、孔を配置した紙(切り紙)を使った研究について、その技術的な新規性を明らかにし(特願 2016-082472)、微細加工を導入した場合の濡れ性に関するデータも得た。三菱樹脂提供のサンプルについて、亀裂進展と動的破壊エネルギーの基礎的なデータを得た。今後、データ取得を継続し、結果の物理的解釈を進める。

(B)「ネットワークモデルを使った多孔性物質の強靱化機構の解明」については、ネットワークモデルによる亀裂進展の研究において、非線形モデルの計算結果を系統的に得た。今後、さらに計算を進めながら物理的解釈を検討していく。また、解析モデルによる亀裂進展の研究で大きな進展があり、亀裂進展の厳密解を得て、その解析解から亀裂進展に速度ジャンプが現れる物理的メカニズムが解明された。

(4) 高分子薄膜における粘性散逸機構の解明

特に、(A)「ヘレシヨウセル中の液滴動力学における散逸機構の解明」について、液滴に働く粘性抵抗の新しいスケールング則について、最終的な物理的理解を明らかにした。

2-3 新たな課題など

(3)(B)から派生した、亀裂進展の解析理論の研究が、予想外に発展した。このため、H29年度からは、(H28年度計画で発展的に一度は解消した)(5)タイヤゴムの強靱化機構の解明 という項目を復活して取り組むこととした。今後、この解析モデルをベースに、慣性の効果、ゴム以外の材料の実験結果との比較、非線形効果などについて、新たに検討を進める。

3. アウトリーチ活動報告

お茶の水女子大学のオープンキャンパスにおいて、本プロジェクトの研究成果を含む一般向けの講演を行った。