

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 9 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・多孔体の破壊や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&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現実的で複雑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

本研究項目では、(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。当該年度は、真珠層型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系統的計算結果をもとに総括を進めた。クモの巣については、これまでの非線形性を組み入れた計算をもとに、新しい着眼点を定め、検討を進めた。

(2) 高分子シート材料の破壊機構の解明

本研究項目については、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。当該年度は、(A)について研究の総括を進めた。(B)のポリマーフォームシートについては、レオロジー測定結果を踏まえた総括を進めた。また、三菱ケミカルと宇部興産よりサンプルの提供を受けて、新たに、(C)動的条件下での亀裂進展の研究に関する準備を整えた。

(3) 多孔性材料の破壊機構の解明

本研究項目については、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。(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ると共に、技術の新規性についても検討を重ねた。三菱ケミカルのサンプルを使った実験は、亀裂進展と破壊応力に着目し、二つの独立した実験を進めた。(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、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してネットワークシミュレーションを進め、基礎的な検討を行った。また、同様のネットワークシミュレーションの中で非線形効果についての研究を進め、速度ジャンプや動的条件下での亀裂進展の検討にも着手した。

(4) 高分子薄膜における粘性散逸機構の解明等

タフポリマーの開発に携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やす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)「ヘレショ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」に関連する研究を行ってきた。当該年度は、液滴に働く粘性抵抗、連続体の基礎への印象派物理学からアプローチ等について総括を行った。

(5) タイヤゴムの強靱化機構の解明

「亀裂進展の解析モデル」については、ネットワークモデルを粗視化した解析理論によって速度ジャンプの起源の解明を目指した。これに関連して、東大グループ、ブリヂストングループとの共同研究も開始した。

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、計算結果に基づいた物理的解釈を得た。また、(B)「クモの巣の強靱化機構における非線形性」についても、試験的な計算を終え、その物理的解釈が進んだ。

(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もとに亀裂進展の実験結果と比較することにより物理的解釈を得た。

(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特許を国際出願すると共に、微細加工を導入した場合の濡れ性に関する実験結果とその物理的解釈を得た。三菱ケミカル提供のサンプルについては、動的破壊エネルギーの実験結果をもとに物理的解釈を得た。同じサンプルを使った亀裂進展の結果については、高分子シート材料の場合と比較した解釈が進んだ。

(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、非線形モデルの系統的計算結果と整合するスケーリング現象論の構築に成功した。

(4) 高分子薄膜における粘性散逸機構の解明

特に、(A)「ヘレショ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、液滴の動力学における粘性効果の種々の様相を明らかにした。

(5) タイヤゴムの強靱化機構の解明

(A)「亀裂進展の解析モデル」解析理論によって速度ジャンプの起源を明らかにした。

2-3 新たな課題など

動的な条件下での亀裂進展に着目し、ゴム以外の材料への研究の展開に着手した。

3. アウトリーチ活動報告

- ・平成 29 年 7 月 15 日、お茶の水女子大学オープンキャンパス 2017 において、「印象派物理学で開拓する身近に潜む物理学最前線：しずく、あわ、砂時計、クモの巣から切り紙まで」というタイトルの講演を行った。（参加者数 約 180 名）