

研究 成 果

<p>サブテーマ名：1-2 タイヤ中高充填ナノフィラーの分散状態 (放射光を用いたフィラー充填ゴムの構造物性相関に関する研究)</p>
<p>サブテマリーダー (所属、役職、氏名) 研究統括 中前 勝彦 (神戸大学名誉教授)</p> <p>研究従事者 (所属、役職、氏名) 住友ゴム工業(株) 研究開発本部 材料プロセス研究部 部 長 溝口 哲朗 住友ゴム工業(株) 研究開発本部 材料プロセス研究部 課 長 村岡 清繁 住友ゴム工業(株) 研究開発本部 材料プロセス研究部 課長代理 岸本 浩通 住友ゴム工業(株) 研究開発本部 材料プロセス研究部 研究員 馬淵 貴裕</p>
<p>研究の概要、新規性及び目標</p> <p>①研究の概要 ナノフィラー (カーボン、シリカ) を分散させたゴムの力学特性に関与しているフィラーネットワーク構造の形成、および動的歪下におけるフィラーネットワーク構造の変化について、放射光による二次元極小角 X 線散乱(2D-USAXS)等を用いて解析し、ナノフィラーによるゴムの補強機構を解明し、低転がり抵抗と雨天路面での高いグリップ性能を両立した、環境対応型高性能タイヤ用材料創出のための開発指針を得ることを目的とした。</p> <p>②研究の独自性・新規性 従来、ゴム中のナノフィラー分散状態の研究には透過型電子顕微鏡が用いられてきた。しかし、実空間観察手法の欠点としてメソスケール領域における構造観察が困難であることと、歪みなどの外力を印加した際の構造変化を観察することが困難であったため、ナノフィラー階層構造とマクロ物性を直接結び付けることが困難であった。本研究では、SPRING-8 の高輝度・高平行 X 線を用いた時分割二次元極小角 X 線散乱法 (2D-USAXS) を開発し、本法により世界で初めてフィラー階層構造とその変化(動的)を捉えた。さらに別プロジェクト(文科省大型研究施設戦略活用プログラム) を利用し開発した二次元パターンリバーサモンテカルロ計算 (2D-RMC) によってフィラーの三次元構造モデルを構築し、得られた構造モデルを初期構造とした大規模 FEM 計算 (有限要素法) から物性との相関に関する基礎研究を行なった。このように(複数の)国の大型研究施設を利用し、構造解析とコンピュータシミュレーションの組み合わせによる、従来技術では踏み込めなかったナノフィラーによるゴムの補強機構や構造物性相関の研究は、独自性が高く、世界的にも例はない。</p> <p>③研究の目標 (フェーズ毎に数値目標等をあげ、具体的に) フェーズ I (~H17年度) : 計測解析手法の開発と課題抽出、粘弾性発現機構解明 フェーズ II (~H20年末) : 構造変化と粘弾性の関連付け、コンピュータシミュレーション技術開発 フェーズ III : タイヤ材料開発</p>
<p>研究の進め方及び進捗状況 (目標と対比して) フェーズ I では(1)粘弾性試験機・引張試験機と時分割2D-USAXS/SAXS同時計測システムの開発 (2)USAXS/SAXS開発に向けた散乱X線の検出方法検討と全領域測定技術検討 (3)ゲル相の可視化、力学特性との関連付けとフィラーネットワークモデルの構築 (4)単分散粒径シリカでの応力発現機構解析 フェーズ II では(5)応力緩和と2D-USAXS/SAXS同時計測 (6)地球シミュレーターでの二次元リバーサモンテカルロ法 (2D-RMC) の開発 (7)2Dp-RMCによるフィラー三次元構造決定と、大規模FEM(有限要素法)計算 (8)応力緩和の歪速度依存性とFEM解析からのエネルギーロス解析 を実施した。</p>
<p>主な成果 具体的な成果内容： (1)本事業で開発された、時分割 2D-USAXS 法/SAXS 法により、動的歪下における様々なフィラー配合ゴムのフィラー凝集体/フィラー階層構造変化を解析した。その一例として、シリカ配合ゴムの場合、フィラー凝集構造変化は歪量に対し一様ではなく、構造変化と粘弾性特性との間の強い関連性を見いだした。 (2)WAXS によるフィラーゲルを構成するゴム分子の配向観測等から、大変形時の応力発現機構について検討し、そのメカニズムを提唱した。</p>

(3)本事業で計測した 2D-USAXS-SAXS データを用い、別プロジェクトを利用し開発した二次元パターンリバーサモンテカルロ計算 (2D-RMC) によってフィラー三次元構造モデルを構築した。得られた構造モデルを初期構造とし大規模 FEM 計算 (有限要素法) を行った。2D-RMC 計算によって得られた延伸過程のフィラー構造変化と大規模 FEM 計算で得られたフィラー構造変化が、ほぼ一致することから、FEM シミュレーション結果は妥当であると考えられた。大規模 FEM 計算の結果から、局所的にフィラー凝集構造が変化しない部分の存在や、系のマクロ歪を大きく上回る歪の集中部分を確認した。

(4)FEM 計算により歪み分布を調査した結果、系内にはバルクの歪み速度に比べ 2 倍以上の歪み速度で変形するゴム成分が存在し、局所的なゴムの変形挙動がゴムの力学特性に大きく関与している事が分かった。

(5)延伸速度に対する応力緩和測定を行った結果、延伸速度が増すと応力緩和量が増大 (エネルギーロス成分が増大) し、応力緩和特性は、延伸速度に大きく依存することが分かった。

(6)前述 FEM 計算においてモデルを構成する全メッシュの歪み変化を調査し、延伸時の不均一な歪み分布が、緩和過程においてその歪みの授受を引き起こし、その結果、応力緩和量が増大するという、エネルギーロス発生メカニズムを提唱した。

特許件数 : 0

論文数 : 1

口頭発表件数 : 2 3

研究成果に関する評価

1 国内外における水準との対比

研究の独自性、新規性の項で記述した通りで、国内外の学会における受賞歴や招待講演の実績は、本研究のレベルと独自性・新規性が高く評価された結果と考えている。

2 実用化に向けた波及効果

本研究で得られた各種知見は、タイヤ用ゴム材料のナノフィラーによる補強機構の基本原則と、開発の方向性を示し、構造制御技術と組み合わせられ、グリップ、燃費、耐摩耗性等、従来技術では背反関係にある複数性能の両立に寄与すると考えられる。

残された課題と対応方針について

フィラーのダイナミクスの計測からのエネルギーロスの起源とその寄与解析、局所変形挙動解析等により、湿潤路面でのグリップ性能と、燃費性能 (転がり抵抗) を両立した環境対応型高性能タイヤ用材料を、顧客および社会的要請に対し遅れることなく創出していきたい。

	J S T 負担分 (千円)							地域負担分 (千円)							合 計
	15 年度	16 年度	17 年度	18 年度	19 年度	20 年度	小計	15 年度	16 年度	17 年度	18 年度	19 年度	20 年度	小計	
人件費	0	0	0	0	1,546	1,013	2,559	3,050	12,260	11,439	14,189	12,039	5,900	58,877	61,436
設備費	0	0	0	0	0	0	0	7,300	18,200	71,830	22,060	33,800	0	153,190	153,190
その他研究 費 (消耗品費 、材料費等)	0	0	0	0	2,553	520	3,073	6,660	25,840	10,780	7,248	8,273	8,600	67,401	70,474
旅費	0	0	0	0	0	0	0	100	0	1,481	463	770	300	3,114	3,114
その他	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,135	2,517	3,288	2,100	17,040	17,040
小 計	0	0	0	0	4,099	1,553	5,632	17,110	56,300	104,665	46,477	58,170	16,900	299,622	305,254

代表的な設備名と仕様 [既存 (事業開始前) の設備含む]

JST負担による設備 :

地域負担による設備 : 固体二次元半導体検出器, 2素子配置フレネルゾーンプレート, X線イメージインテンシファイア, 高速度X線CCD検出器, 両側引張方式引張試験機 (恒温槽付き)