

## ゴム中のナノ粒子ネットワーク構造のモデル構築による 高性能タイヤの開発

岸本浩通\* (0007299)

SRI 研究開発株式会社 材料プロセス研究部

篠原佑也 (0009185)、雨宮慶幸 (0003882)

東京大学大学院 新領域創成科学研究科

### 『研究背景』

ゴム中にカーボンブラックやシリカなどのフィラーを分散させると、弾性率・強度および繰り返し歪みを印加した時に生じるヒステリシスロスが増大するなどの「補強効果」を示すことから、タイヤの基本特性である「車重を支える（高強度）」「車を止める（高グリップ）」機能を発現させることが可能となっている。一方、車の燃費性能に影響するタイヤの転がり抵抗は、グリップ性能と同じくヒステリシスロスに関係しており、グリップ性能と燃費性能を両立することは非常に困難である。これら補強効果の起源について過去多くの研究が成されてきたが、未だ詳細なメカニズムは分かっていない。

我々はこれら両特性を制御する重要な因子として、ゴム中に分散されたフィラーによって形成された凝集構造（ネットワーク）に着目している。従来、ゴム等のコンポジット材料中のフィラー凝集構造の観察には、TEM（透過型電子顕微鏡）が多く使われてきた。しかし、タイヤなどのようにフィラーが高充填されている系においては、試料の奥行き方向のフィラーの重なりから凝集構造を観察することは困難であった。近年、TEMとコンピュータグラフィックを組み合わせた 3D-TEM 手法が開発され、フィラー凝集構造の解析に有力な手法となっている。しかし、試料厚みの制限から 200 nm 程度の構造情報しか得る事ができない。フィラーの階層的な凝集構造の大きさは、数 nm から数  $\mu\text{m}$  オーダと考えられている。このオーダにおける構造解析の手法として可視光を用いた光散乱法の利用が考えられるが、この系は可視光に対して不透明であり適用することは不可能である。それに対し SPring-8 の高強度 X 線を用いた時分割 X 線散乱実験は、フィラーの凝集構造を解析するのに有力な手法である。しかし、この大きさの領域は、散乱角が極めて小さいために、構造解析を行うには難しい領域であった。

本研究の目的は、2005B 期に実施した BL20XU ビームラインによる時分割二次元極小角 X 線散乱実験（2D-USAXS）と、今回 BL40B2 で行った時分割二次元小角 X 線散乱を組み合わせるにより、動的歪み下における幅広いフィラー凝集構造およびその変化に関する情報を得ることにある。

## 『実 験』

試料は、SBR 中に単分散粒径シリカ（粒径約 100 nm, 体積分率 20%）とシランカップリング剤を分散させ、イオウ加硫したゴムを用いた。時分割 2D-SAXS 実験は、SPring-8 BL40B2 ビームラインを使用した。使用した X 線エネルギーは 8 keV、カメラ長は約 3 m である。二次元検出器は、X 線イメージンテンシファイアと組み合わせた CCD 型 X 線検出器、イメージングプレート (IP) および RAPID (2D-PSPC) 検出器を用い、繰り返し歪下における時分割 2D-USAXS 測定を行った。

## 『結 果』

IP を用い、未延伸状態におけるゴムの 2D-USAX-SAXS 測定を行った結果を図 1 に示す。図 1 から分かるように、IP ではダイナミックレンジが広いため  $2 \times 10^{-3} < q < 0.1 \text{ \AA}^{-1}$ 、BL20XU の 2D-USAXS 実験と合わせると  $5 \times 10^{-4} < q < 0.1 \text{ \AA}^{-1}$  幅広い構造情報が得られることが分かった。さらに、時分割測定を行うために RAPID 検出器を検討した結果、数十 ms～数 s での露光時間で十分な精度のデータが得られることが分かった。現在、Unified fit モデルによるフィラー階層構造の解析を行っているところである。今後、本実験および 2005B 期に得られた 2D-USAXS データを元に、地球シミュレータで大規模計算を行い、大きなスケールでの構造解析を実施する。

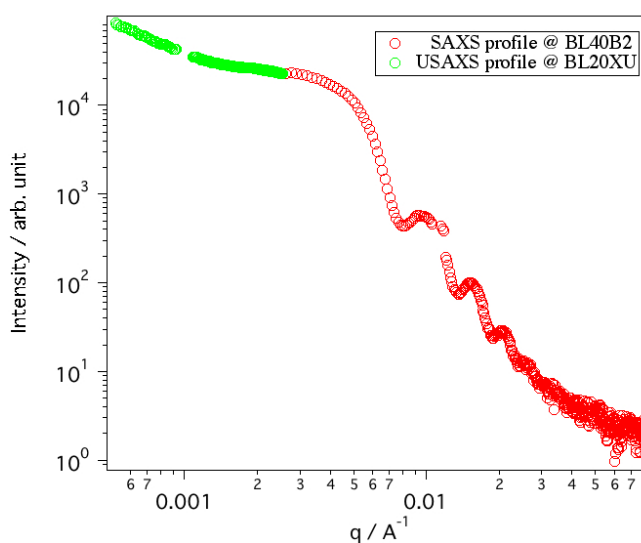


図 1 単分散粒径シリカ配合ゴムの 2D-USAXS-SAXS 像から得られた 1 次元散乱プロファイル