

# 「破壊に繋がるゴム内部構造の分布の違い」の三次元可視化に成功

—耐摩耗性能を向上させたタイヤ開発に活用へ—

## 概要

ゴムは、タイヤなど私たちの生活に欠かせない製品に使われています。これらの製品を長持ちさせるためには、「壊れにくさ」、つまり耐破壊特性を高めることが重要です。しかしながら、ゴムは複数の材料から構成された複雑な混合物であるが故に、その破壊メカニズムは完全に解明されておらず、どこで破壊が始まり、その破壊の原因となる内部構造がどのように関係しているのかを特定する事ができていないわけではありません。そこで、京都大学化学研究所 小川紘樹 准教授、竹中幹人 同教授、住友ゴム工業株式会社らのグループは、大型放射光研究施設「SPring-8」を活用した放射光技術によりゴムが破壊に至る過程を観察した結果、「破壊に繋がるゴム内部構造の分布の違いを三次元的に可視化」することに成功しました。本研究を通して耐摩耗性に優れたタイヤゴム材料の開発を進めることが可能となります。

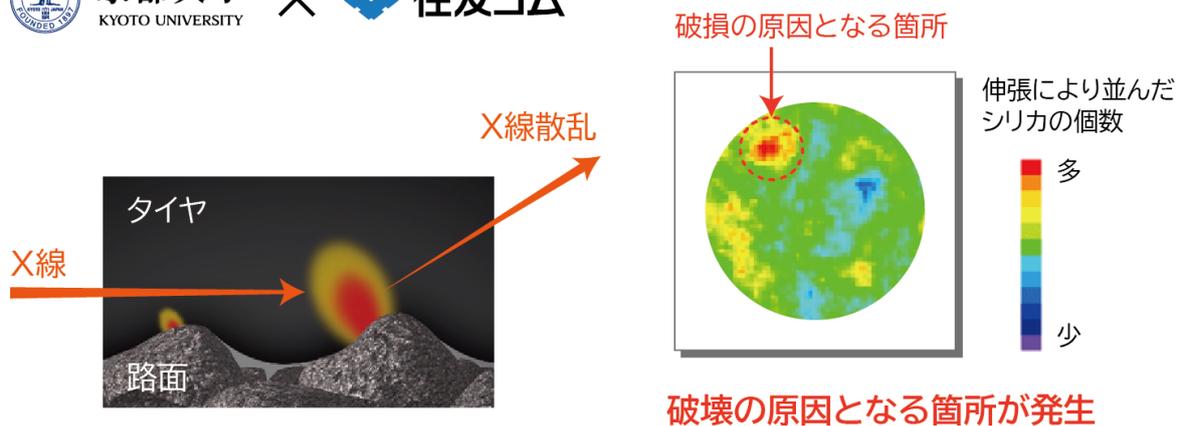
本研究成果は、2025年7月22日に独国の国際学術誌「Small Structures」にオンライン掲載されています。



京都大学  
KYOTO UNIVERSITY



住友ゴム



破壊に繋がるゴム内部構造の分布の違いを可視化

## 1. 背景

高耐久性タイヤの実現による資源の削減および更なる安全性確保のため、タイヤ用ゴムの破壊強度向上が求められています。しかしながら、ゴムの破壊メカニズムは完全に理解されたわけではありません。そこで当グループは、国立研究開発法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) が推進するプロジェクト「NEDO 先導研究プログラム」において、ゴムの破壊メカニズムに基づき、タイヤの耐摩耗性能の向上を目指した研究に取り組んでいます。破壊メカニズムを解明するにあたり、どこで破壊が始まり、その破壊の原因となる内部構造がどのように関係しているのかを明らかにすることは非常に重要です。タイヤ用ゴムは、骨格となるポリマーに補強剤であるシリカやカーボンブラック、機能を向上させる添加剤や架橋剤など十数種類以上の材料から構成されています (図 1)。これまで大型放射光研究施設「SPring-8」[注 1]を活用し、二次元極小角-小角 X 線散乱 (2D-USAXS/SAXS) 法[注 2]を用いてゴム内部構造の研究を進めてきました。しかし、2D-USAXS/SAXS 法では X 線が通過した部分におけるゴム内部構造の平均的な構造情報しか得られませんでした。そのため、ゴムを変形させた際に“どこで破壊が始まり、どのような材料構造が関係しているのか?”までは特定することが困難でした。

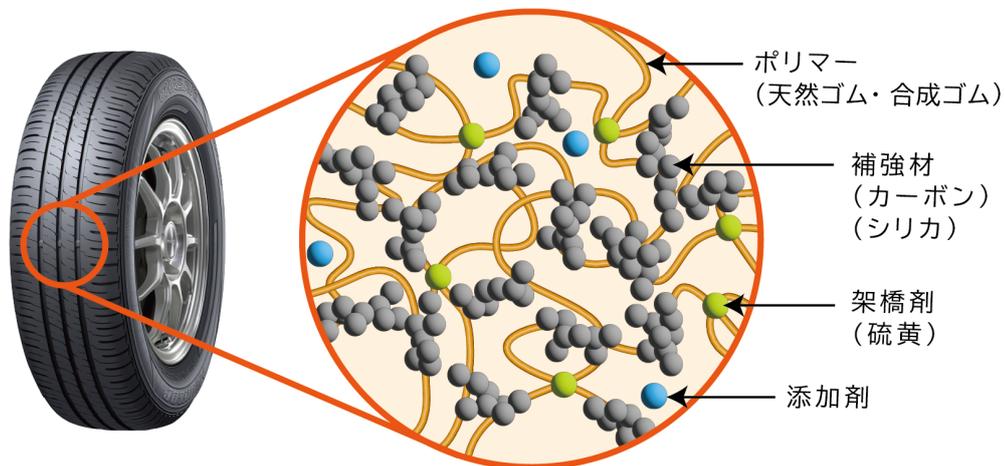


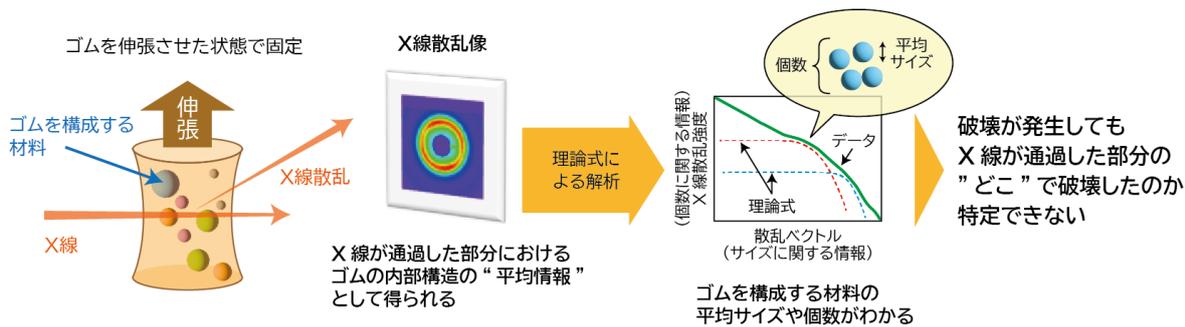
図 1. タイヤ用ゴムの中身 (イメージ図)

## 2. 研究手法・成果

そこで、当グループが開発した小角/広角 X 線散乱コンピュータトモグラフィー (SWAXS-CT) 法を用いた研究を進めてきました。本手法は、ゴムを横方向に走査し、その後ゴムを回転させることを繰り返しながら SAXS 測定を行うことで、3次元での SWAXS-CT 像 (ゴム内部構造の違いを 3 次元的に可視化) が得られる手法となります (図 2)。

今回、SPring-8 にて本計測手法を用いてゴムが破壊する様子を観察した結果、「どこで破壊が始まるかを 3 次元的に捉えることに成功し、その破壊にはポリマーとシリカが特殊な状態 (部分的に並んだ状態) に変化しゴムの破壊が始まるという現象を捉える」ことに成功しました。(図 3)。すなわち、これら「破壊の前駆現象」を制御することができれば破壊を抑制することができ、タイヤの耐摩耗性能を向上させるにあたり重要な指針を得ることができました。

これまでの計測手法



今回の計測手法



図 2. これまでの計測手法と今回の計測手法の違い

今回の計測手法から得られた結果（シリカに関する情報のみを説明）

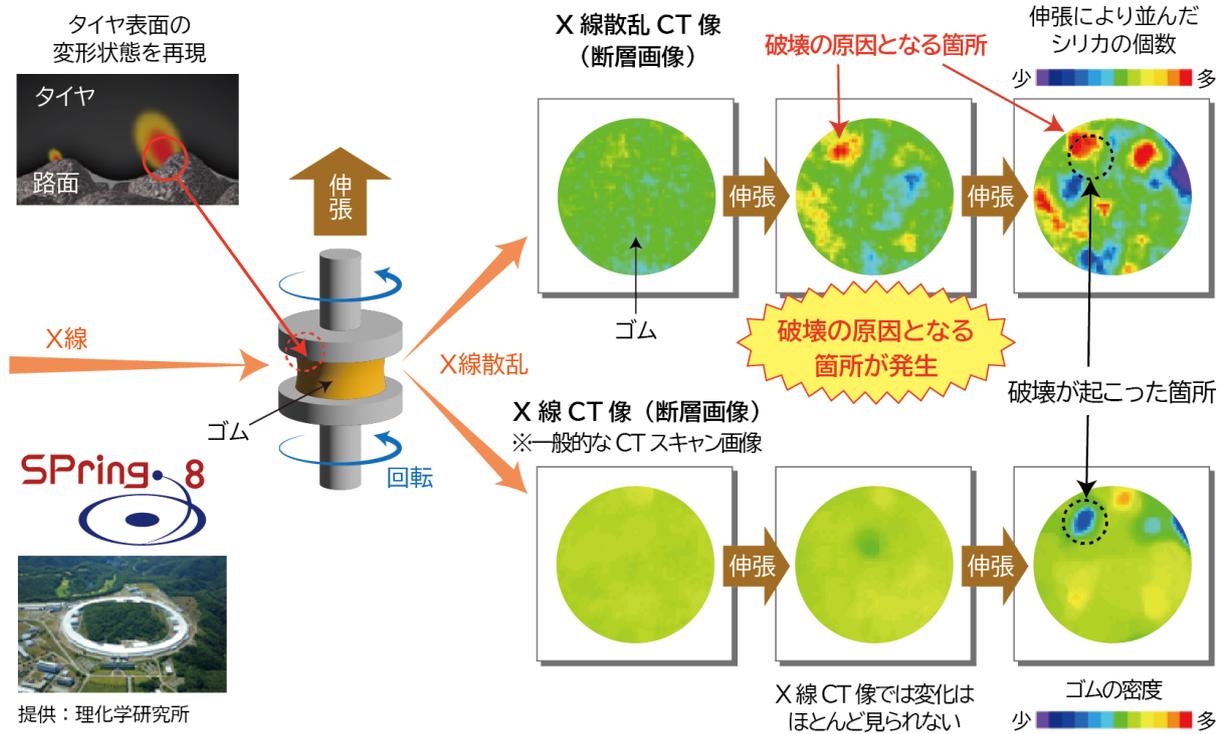


図 3. ゴムの破壊につながる内部構造の分布の違いを可視化した結果

### 3. 波及効果、今後の予定

EV の普及による車両重量の増加や、省資源など環境負荷低減への関心が高まる中、より長持ちするタイヤへのニーズが高まっています。当グループの研究員が所属する住友ゴム工業株式会社では、長期経営戦略「R.I.S.E. 2035」において、強みである「ゴム・解析技術力」と「ブランド創造力」によって「ゴムから生み出す“新たな体験価値”をすべての人に提供し続ける」ことを目指しています。今回の成果は、産学連携と最先端研究施設の活用により、「ゴム・解析技術力」の強化を実践したものであり、耐摩耗性能を高めたタイヤの開発を進めることで、安全性の向上と環境負荷の低減に貢献することが可能となります。

### 4. 研究プロジェクトについて

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構「NEDO 先導研究プログラム／新産業・革新技術創出に向けた先導研究プログラム／非平衡系M I スキームによる未来材料開発期間の劇的短縮」の支援の下で実施されました。

#### <用語解説>

[注 1] 大型放射光研究施設「SPring-8」：世界最高性能の放射光を生み出すことができる大型放射光施設(兵庫県佐用郡佐用町)

[注 2] X線散乱法：X線を物質に当てて、その跳ね返り方（散乱）を観察することで、物質の中の構造を調べる方法

<論文タイトルと著者>

タイトル： New insights into the fracture precursors of rubber reinforced with a nano-filler (ナノフィラーで補強されたゴムの破壊の前駆現象に関する新たな知見)

著者： Hiroki Ogawa\* †, Ryo Mashita, Hiroyuki Kishimoto, Shunsuke Ono, Wataru Yashiro, Taizo Kabe, Hiroyasu Masunaga, Mikihiro Takenaka (\*共筆頭著者、†責任者)

掲載誌： Small Structures, 2500257 (2025). DOI : <https://doi.org/10.1002/sstr.202500257>