

## X線イメージングを用いたゴム材料の亀裂ひずみ観察 Observation of Local Strain at Crack Tip for Rubbers by X-ray Imaging

馬淵 貴裕<sup>a</sup>, 井戸 喜英<sup>a</sup>, 脇野 宏章<sup>a</sup>, 志摩 成信<sup>a</sup>, 岸本 浩通<sup>a</sup>, 上杉 健太朗<sup>b</sup>  
Takahiro Mabuchi<sup>a</sup>, Yoshihide Ido<sup>a</sup>, Hiroaki Wakino<sup>a</sup>, Shigenobu Shima<sup>a</sup>, Hiroyuki Kishimoto<sup>a</sup>,  
Kentaro Uesugi<sup>b</sup>

<sup>a</sup>住友ゴム工業株式会社, <sup>b</sup>(財)高輝度光科学研究センター

<sup>a</sup>SUMITOMO RUBBER INDUSTRIES, LTD., <sup>b</sup>JASRI

タイヤの摩耗は、タイヤ表面に形成された微細な亀裂にかかる局所的なひずみ分布とそれに関わる緩和機構が密接に関係していると考えられている。

そこで、ゴム材料の亀裂成長時に生じる局所的なひずみ挙動を SPring-8 の特長である高輝度・高平行 X 線を利用した屈折コントラストイメージングで直接観察した。亀裂成長時の歪み挙動を様々な材料で比較した結果、材料間において亀裂近傍のひずみ量およびひずみ分布に違いが生じていることを見出した。

キーワード： 摩耗、亀裂、ひずみ分布、屈折コントラスト

### 【背景と研究目的】

近年、地球温暖化ガスの排出規制など環境問題に対し世界的な取り組みがなされている。タイヤの転がり抵抗が車の燃費性能に与える影響は全抵抗の約 20%と非常に高い割合を占める。また、タイヤの製造からサーマルリサイクルされるまでの過程での CO2 排出量のうち、約 80%が車に装着されている過程で発生しているとされている。今後、益々発展する車社会の状況を考えると、車の燃費性能に大きく関与するタイヤの転がり抵抗を低減させることは重要な課題となっている。

しかし、現在の技術では転がり抵抗を低減させると耐摩耗性能が悪化してしまうため、高次元でこれら特性を両立させる技術の開発が必要となる。一般的に、ゴムの強度が高ければ耐摩耗性が向上すると考えられる。しかし、強度がほぼ限界まで高められている現状では、ゴムの強度以外の要素で耐摩耗性能を向上させる手法が求められている。その手法を見出すためには、摩耗と密接な関係があるといわれている亀裂成長メカニズムを明らかにしなければならない。

そこで本研究では、SPring-8 の高平行 X 線を用いた屈折コントラストイメージング法を用い、摩耗の根源である亀裂成長過程をその場観察することで詳細なゴムの変形挙動を解析し、耐摩耗性向上の技術を開発していきたいと考えている。

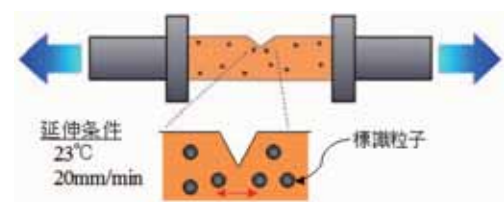


図 1 亀裂試験

### 【実験】

摩耗現象を単純な亀裂試験(図 1)に落とし込み亀裂先端部分で生じる亀裂を屈折コントラストイメージングで観察した。測定サンプルには、諸物性が異なる 3 種類の加硫ゴムを用いた。サンプル内部には歪みを解析できるように標識粒子を混在させた。試験片の形状は、長さ 40mm(チャック間)、幅 15mm、厚さ約 1mm のゴムシートであり、初期亀裂を 3mm 与えている。亀裂延伸条件は、室温、20mm/min(掴み部)とした。屈折コントラストイメージング条件は以下のように調整した。

- ・ X 線エネルギー：15keV
- ・ 検出器：ビームモニター5+X 線 CCD 検出器(浜松ホトニクス製：C4880-41S カメラ)

- ・ ピクセル分解能：約 13.3um (2 x 2 binning)
- ・ 検出器-サンプル間距離：約 20cm

【結果および考察】

図2にX線屈折コントラストイメージングの結果を示した。今回作製したサンプルにおいて内部に配置された標識粒子が明確に確認でき、従来の実験からはできなかったミクロンオーダーでのひずみ量解析ができるようになった。また、亀裂部付近のひずみ分布状態がサンプルの厚み変化によるX線の吸収量の違いから見て取ることができた。

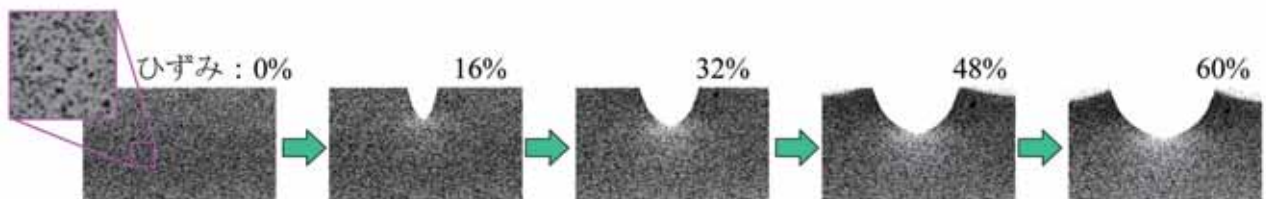


図2 延伸時のイメージング画像

図3に、種類の異なるゴム材料サンプルA、B、Cにおいてサンプル全体(チャック間=40mm)でのひずみを40%与えたときの亀裂部付近におけるイメージング画像を示した。結果、亀裂部付近のひずみ量やひずみ分布に関して以下のことが分かり、それぞれのゴム材料における粘弾性特性が寄与していると推察できた。

- サンプルA : 亀裂部への局所ひずみ値は大きい、ひずみ集中の分布は小さい。
- サンプルB : 亀裂部への局所ひずみ値は小さく、ひずみ集中の分布は中庸程度。
- サンプルC : 亀裂部への局所ひずみ値は大きく、ひずみ集中の分布も大きい。

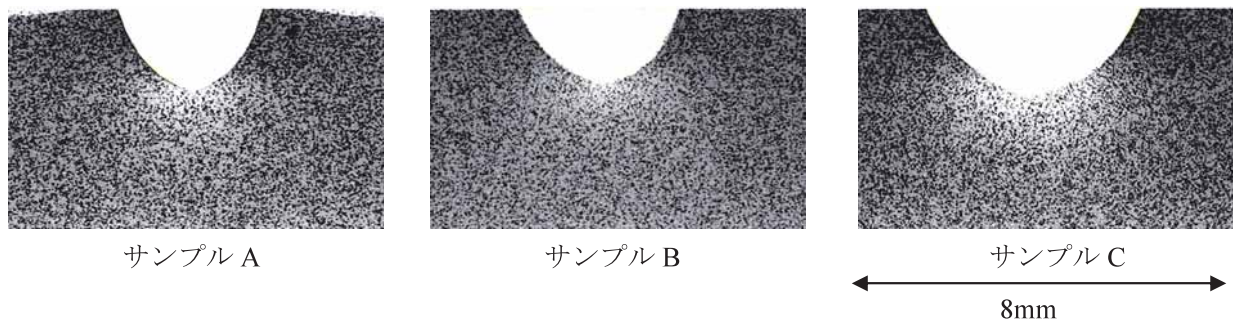


図3 40%延伸時の亀裂部付近におけるイメージング画像

【今後の課題】

今回、SPring-8の特徴である高輝度・高平行X線を利用した屈折コントラストイメージングから亀裂時のひずみ量およびひずみ分布評価をできるようになり、材料間の差を見出すことができた。今後、当実験から得られたデータをより詳細に解析し、タイヤ摩耗の根源である亀裂の成長を抑制する技術を開発していきたい。