

ゴム中不均一構造の X 線位相差 CT 観察 X-ray Phase Contrast Imaging of Inhomogeneous Morphology in Rubber

丸山 隆之^a, 竹内 晃久^b
Takayuki Maruyama^a, Akihisa Takeuchi^b

^a(株)ブリヂストン, ^b(公財)高輝度光科学研究センター
^aBridgestone Co., ^bJASRI

長寿命・低損失タイヤのニーズに応えるため、汎用 X 線 CT 装置では一般に検出困難な有機成分主体の異物について、放射光の高輝度・高コヒーレンスを利用した位相コントラスト結像型 X 線 CT を用いることで正確かつ詳細な把握が可能となるか検討した。その結果、フィラーを充填した実用ゴムにおいても実際に吸収 CT 像ではほとんどコントラストの得られない有機系の異物が位相 CT 像により鮮明に非破壊観察可能なことが確認された。

キーワード： ゴム、X 線 CT、X 線顕微鏡

背景と研究目的：

新興国を中心に急速に拡大したモータリゼーション化は今後も年率 4-6% で着実・継続的な進展が予想される。自動車台数の増加に伴い消費されるタイヤの総量も増加を続けるため、生産原材料の持続的確保や省エネルギーの観点から長寿命・低損失なタイヤのニーズは益々高まるものと予想される。こうしたニーズにタイヤ材料面から応えるためには、これまで見過ごされてきたゴム中の各種配合物の不分散や不均一構造、意図しない反応生成物(異物粒子)などを、放射光を用いてより正確かつ定量的に把握することが重要となる。

申請者はこれまで汎用の X 線 CT 装置による上記微細構造の検出に取り組んできたが、低強度で平行性に乏しい実験室 X 線源では空間分解能に限界があり、高分解能でコントラストを得る手法も吸収法に限られる。破壊検査である電子顕微鏡によればゴム中構造物として実際には 1 μm に満たない微細な構造物も多数認められるが、非破壊検査として汎用の CT 装置を用いる限りでは 3 μm 程度を下回る構造物をノイズと判別することは実質的に困難だった。また観察対象もゴムと吸収が大きく異なる無機系添加物に限定され、ゴムそのものに内在する密度不均一構造などは投影法ではコントラストが乏しく全く観察できなかった。

そこで今回の課題では放射光の高輝度・高コヒーレンスを利用した位相コントラスト結像型 X 線 CT を実用ゴムの観察に適用することで、こうした不均一微細構造の正確詳細な非破壊観察を初めて試みる。これまで難しかったミクロン領域でこのように実用ゴムの不均一・不均質な 3 次元構造を正確に把握できれば、その最適化を通してこれまでにない開発次元でゴム性能の最大化を図ることが技術的に可能となることから、各種試料・観察像を比較することで不均一構造の実体解明を目指す。

実験：

- ・試料：フィラーを充填し加硫された各種タイヤ用イソプレン系ゴムの細片
- ・実験条件：実施ビームライン BL47XU
 - ・使用装置：位相コントラスト結像型 X 線顕微 CT 装置
 - ・測定条件：位相コントラスト法、X 線エネルギー 8 keV、空間分解能 200 nm
 - ・比較条件：同じ試料について結像 X 線顕微鏡を吸収コントラストに切替えた撮影も実施

結果および考察：

フィラーを充填した実用ゴムにおいても実際に吸収 CT 像(図 1)ではほとんどコントラストの得られない有機系の異物が位相 CT 像(図 2)により鮮明に非破壊観察可能なことが検証された。

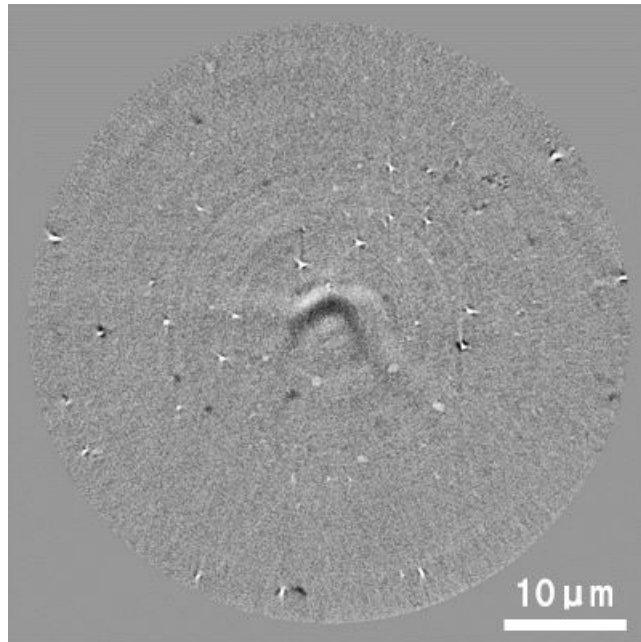


図 1. 有機系異物を含むゴムの吸収 CT 像

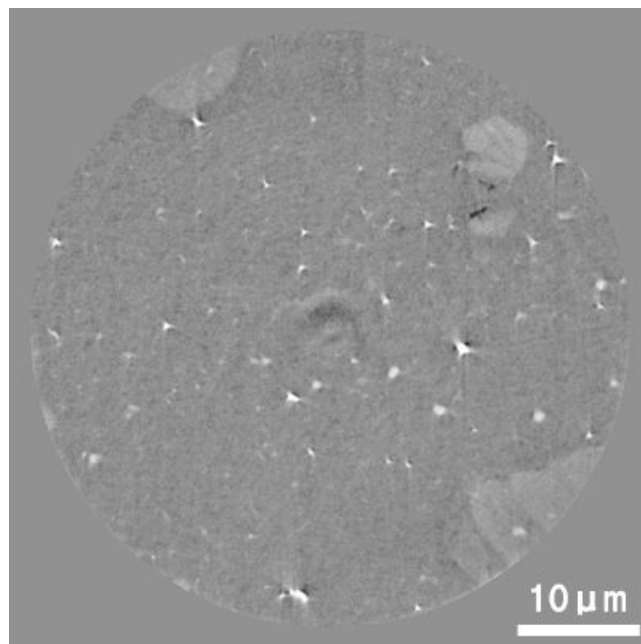


図 2. 図 1 と同じ場所の位相 CT 像

今後の課題：

今後はゴム中に混在する各種有機系・無機系粒子の位置的相関などをより詳細に解析し、ゴム性能への影響を把握することでゴム構造の最適化へとつなげていく。