

# Neutron Imaging Observation of rubber - with - water system

Bridgestone Corporation Takayuki Maruyama

## 1. Introduction

一般車両用タイヤに対してはその使用される環境に応じ多岐に亘る製品性能が要求されるが、なかでも駆動・制動性能は安全に走り止まるというタイヤに求められる最も基本的で重要な性能といえる。制動性の確保が困難な雨天時や氷結路面などにも対応するためタイヤの接地面には一般に排水性やグリップ力を最大限に発揮するための各種溝構造が設けられる。一方でこうした溝構造の導入はタイヤの表面剛性や耐摩耗性の低下につながる側面もあるため、溝構造の設計では制動性能の確保に必要な十分な溝形状（形、幅、深さやその組み合わせなど）を正確に把握することが極めて重要である。そのためには路面の水膜が実際に排水溝中に浸水する様子を直接観察することで設計された溝構造が適当か判断できることが望ましいが、現在までそうした評価が十分に可能な観察手段は存在しないため、一部経験的な要素も加味しながら設計されているのが実情である。

X線と並び中性子を利用したラジオグラフィやCTは強力な非破壊観察手段として製品開発・検査や生産工程解析など今後のタイヤ産業への応用が広く期待されている。特に中性子はX線対比で水を構成する水素など一部軽元素に対する感度が特異的に高い性質を持つことから、上述のような濡れた路面と排水溝の相互作用の観察や把握に向けた有望な評価手段となる可能性がある。実際にJRR-3において実施された中性子CTにより、表面中央部に1本の排水溝を設けたゴム片への浸水状況が、重水を用いれば直接透過観察可能なことが報告された（Hirota 他、1st AOCNS (2011)）。

上記報告時点では中性子ラジオグラフィの空間分解能が100-200 $\mu\text{m}$ と低かったため、特に複数溝の組合せ構造や内部屈曲構造など市販タイヤで実際に用いられる複雑な排水溝構造中での浸水状況の詳細な観察には分解能が不足していた。近年検出器や装置構成の大幅な進歩を受けて50 $\mu\text{m}$ を下回る高空間分解能でのイメージングが実現しつつあることから、改めて最先端の中性子イメージング技術により実際のタイヤ製品におけるゴム-水接触系の観察評価を試みて、上述の目的に叶う評価の可能性を再検討することが望まれた。

そこで本課題の目標としては、実際のタイヤ材料・接地面構造におけるゴム-水接触系の非破壊観察がJ-PARCで最先端の中性子イメージング技術を用いた場合にどの程度まで可能なかを明らかにすることを目指した。より具体的には雨天・氷雪中走行車両の安全性確保に重要なタイヤ用ゴムの吸排水機構を詳細に把握するため、中性子イメージングによりゴム表面に設けた排水溝への吸水状況の直接透過観察を検討した。すなわち中性子を用いることで、排水溝中に吸水された水、浸水せずに残された溝中の空気、および排水溝を構成するゴム、の3成分を明瞭に見分けることが可能か、実際のタイヤ構造による見極めを目指した。

## 2. Experiment

実験はJ-PARCのBL22（エネルギー分析型中性子イメージング装置RADEN）を利用した（空間分解能は約60 $\mu\text{m}$ ）。実験試料は排水溝を含む実際のタイヤ切片を用いた。排水溝に水を含ませない状態で中性子ラジオグラフィを行い、まずは排水溝を構成するゴムと溝中の空気について、観察試料の厚みや撮影条件の最適化によりどの程度まで識別可能かを確認し、現時点で最適な観察条件の確立を目指した。

最適な静的観察条件を確立するため、ゴム切片の厚みを3mm厚から7mm厚まで3通り変えて各コントラストを比較した。撮影条件については全波長領域を使用した場合と熱外中性子領域を使用した場合でコントラストに違いがあるか検討した。

### 3. Results

ゴム切片の厚みが7mm厚の場合に全波長領域を使用して撮影した中性子透過像を図1に示す。図1では上方が接地側に相当し、ゴム部分が暗く、溝中の空気部分が明るく撮影されている。更に図1の赤線部分に沿った透過率の分布を数値化し、厚みの異なる3種類のゴム切片の中性子透過像について比較した結果を図2に示す。ゴムに含まれる多量の水素により中性子が散乱され全体のベースを押し上げた可能性はあるものの、ゴム部分と空気部分では少なくとも10%程度（最大で20%以上）の透過率差が得られることが確認された。また全波長領域を使用した撮影の方が熱外中性子領域を使用した撮影に比べ特に厚みの薄いゴム切片でより大きな透過率差が得られた。

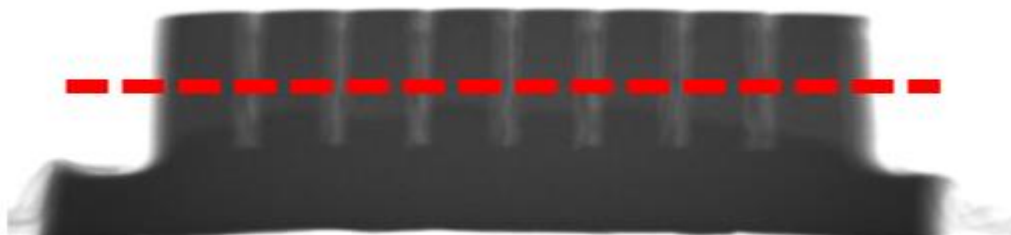


図1. ゴム切片7mm厚の中性子透過像

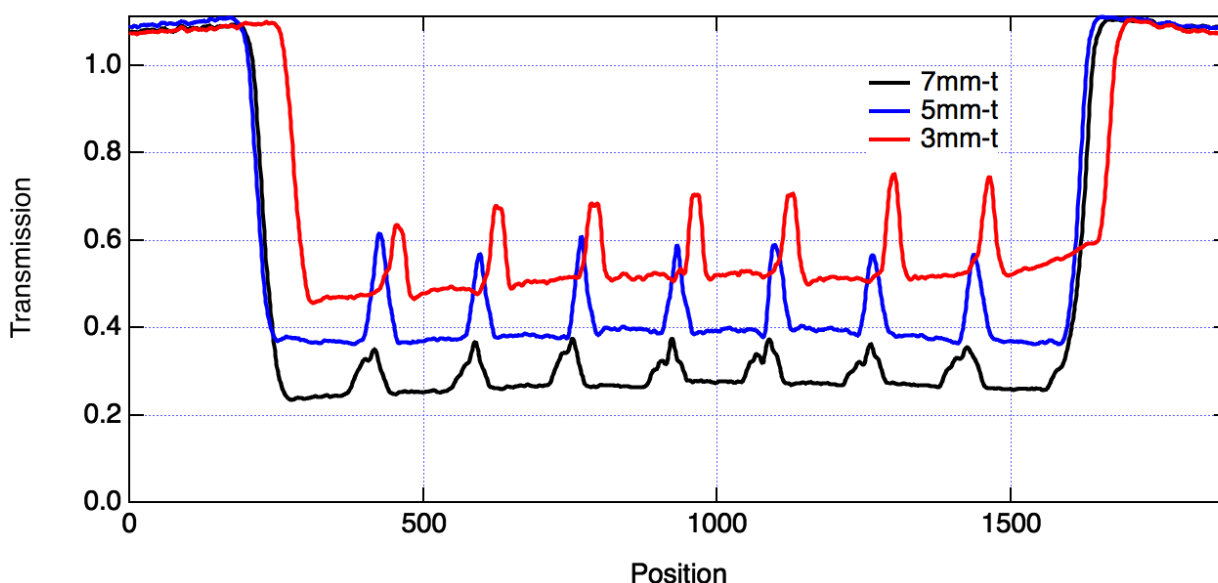


図2. ゴム切片の厚みを変えた場合の中性子透過像の透過率分布比較

### 4. Conclusion

今回検討した試料・撮影条件の範囲では空気部分（排水溝の部分）とゴム部分（溝の無い部分）の透過率の違いが少なくとも10%程度は得られることが確認されたことから、排水溝中に吸水された水、浸水せずに残された溝中の空気、および排水溝を構成するゴム、の3成分を見分けることは十分に可能なものと期待される。今後は排水溝に水を含ませる前後で実際に中性子ラジオグラフィ・トモグラフィを行い、両者の中性子透過率変化から浸水状況がどの程度鮮明に観察可能か検証するとともに、重水利用の可能性など現時点で最適な観察条件の確立を目指したい。