



季刊誌

2017

J-PARC

JAPAN PROTON ACCELERATOR RESEARCH COMPLEX

NO.08

特集

ピタツと止まって低燃費 しかも丈夫なタイヤを作る

住友ゴム工業 岸本浩通

J-PARCの中性子技術とタイヤ開発

ピタッと止まって低燃費

しかも丈夫なタイヤを作る

岸本 浩通 KISHIMOTO Hiroyuki
住友ゴム工業株式会社 研究開発本部分析センター課長

自動車のタイヤと中性子を使った研究。一見、無関係に思えるこの2つだが、組み合わせることで、画期的な性能を持ったエコタイヤが誕生したという。住友ゴム工業の岸本浩通氏（研究開発本部分析センター課長）に話を伺った。

—まずは岸本さんの仕事を教えてください。

自動車用タイヤの研究をしています。タイヤを「1つのゴムの塊」だと思っている人もいますが、実際には様々な技術によって作られており、それぞれの分野で研究があります。イメージしやすいのは、トレッドパターン（ミゾの形）の研究でしょう。私はゴムの材料そのものに関する研究を行っています。

—材料の研究とは、どんなことをやっているのですか？

タイヤ用のゴムは、1種類の材料で作られてい

るわけではありません。地面に接するトレッドと呼ばれる部分だけでも、10種類以上の材料を混合することによって作られています。

主原料は天然ゴムや合成ゴムなどのポリマーですが、その中にカーボンブラック（炭素微粒子）やシリカ（二酸化ケイ素）といった充填剤（フィラー）を混ぜると、強度が劇的に向上します。もしフィラーが無ければ、走行させるとすぐにタイヤはボロボロになってしまうでしょう。またフィラーを入れることで、タイヤのグリップ力が上がるという効果もあります。

タイヤ用のゴムとしての機能を向上させるには、どんな材料をどのように使えば良いのか。そういうことがこの研究の目的です。

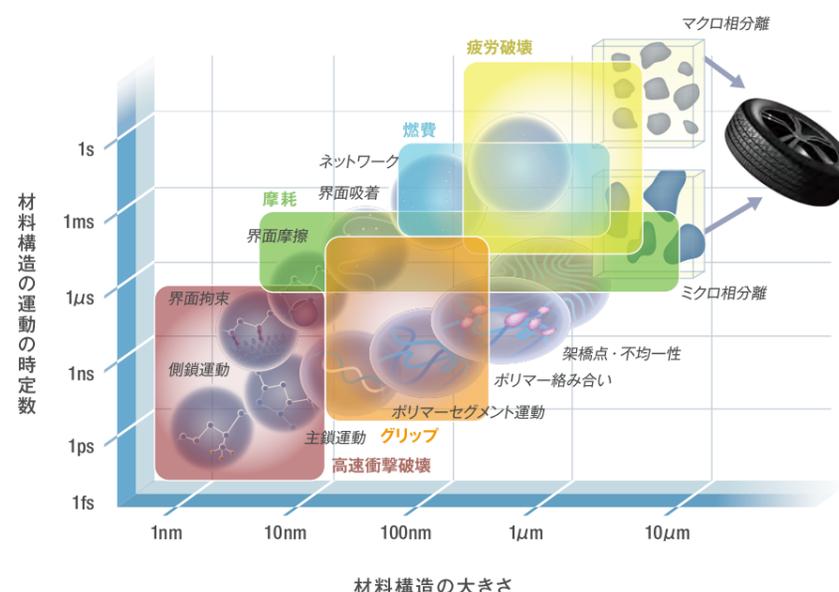
—なぜJ-PARCを利用することになったのですか？

実は、フィラーでグリップ力が上がることは経験的に知られてはいましたが、なぜ上がるのか、詳しい仕組みは良く分かっていませんでした。これは少し料理に似ているかもしれません。塩や醤油をこのくらい入れたら美味しくなったけど、理由は何か良く分からない、と。もっと美味しい料理を作りたいけど理由がわからない場合は、手当たり次第に試してみるしかない。

従来の材料開発は、ゴム物性と経験に基づき試行錯誤を繰り返していました。しかし、タイヤに求められる重要な性能として、低燃費性能（環



材料構造の大きさと運動の時定数の一覧



横軸の大きさの観点から見ると、グリップ・摩擦・燃費などが重なってしまい両立させることが難しくなってしまうが、縦軸の大きさによる運動の時定数を加えるとそれぞれがある程度分離することが分かる。

境）、グリップ性能（安全）、耐摩耗性能がありますが、これら性能は相反関係にあります。つまり、ゴム内部で各材料がどのような構造で機能しているのかメカニズムを理解しない限り革新的なゴムを生み出すのが難しい。

—メカニズムを知るためにJ-PARCが必要だったわけですね。

90年代の半ば、タイヤの世界で1つのブレイクスルーがありました。カーボンブラックの代わりにシリカを混ぜると、これまで相反関係にあった低燃費性能とグリップ性能の両方が向上することが分かったのです。そのポイントとなる重要な材料が結合剤です。ポリマーとシリカは水と油の関係なので、結合剤はシリカをうまく分散させることと、シリカとポリマーを結合することによってゴムの強度を高める役割を担っています。しかし、シリカの分散状態がどのように変わり低燃費性能とグリップ性能を向上させているのか仕組みがよくわかりませんでした。

そこで最初に利用したのがSpring-8です。この放射光X線で実験したところ、シリカの3次元的な配置をうまくコントロールすればいいということが少しずつ分かってきました。しかし、ゴムの特性を生み出しているのは、フィラーではなくてポリマー。フィラーは、ポリマーの特性を引き出す役割をしています。次はポリマーの構造も

調べたい。

ところが、X線ではゴム中のフィラーはよくわかるのですが、ゴム中のポリマーを調べるのが苦手です。これを見るのに適しているのが、J-PARCの中性子。一見、タイヤゴムは黒くて固いので信じられないかもしれませんが、内部のポリマーは激しく動いています。この動きがゴムらしさを生んでいて、ゴムの性能を向上させるには、ダイナミクスの理解がすごく重要。中性子は、こういった動きを見るのに非常に適しています。

—タイヤ業界で中性子を使った研究は一般的なのでしょうか？

我々が研究を始めた頃はあまり無かったと思います。最初は「ダイナミクス研究を行っても産業応用ができるのか？」と言われてたりもしました。多くの方は、ダイナミクスは学術的基礎研究であり、一般的に行われている材料構造と物性相関に注力すべきではないのかと思われていたのだと思います。

このイラスト（上図）を見てください。材料構造の大きさ（横軸）だけを見ると、グリップも摩擦も燃費も重なってしまい、区別できません。しかし、材料構造の運動（縦軸）を加えて平面的に見ると、その3つがある程度分離できそうです。こうすれば、タイヤの3つの性能を両立できるのではないかと。そういう発想でした。



物事の真理を追求する 最先端の研究は、 とても大切で面白い世界。

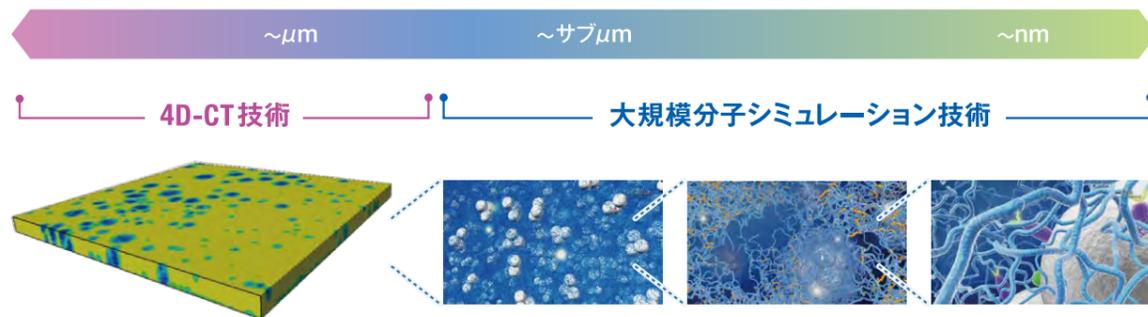
— J-PARCの設備を使ってみた感想はどうか？

海外の中性子実験施設も使ったことがあるのですが、J-PARCではすごく速く測定できるので、思っていた以上に系統的な研究ができることが分かりました。タイヤゴムのような複合材料は、1回や2回実験を行っただけでは良く分かりません。材料構造を変えたらどう変わるのか、何度も何度も実験して、系統的に見る必要があります。

— J-PARCの実験で、どんな成果が得られましたか？

「ADVANCED 4D NANO DESIGN」という材料開発技術を確認できました。2011年に発表した最初の4D NANO DESIGNはグリップと燃費だけだっ

4D-CT 技術と大規模分子シミュレーションによる破壊のトータル解析技術



日本の最先端技術を注ぎ込んだ

ADVANCED 4D NANO DESIGN

SPring-8にてゴムの構造を解析し、J-PARCでゴムの運動を解析。その結果を基にモデルデータを構築。
「京」で大規模なシミュレーションを行い、タイヤ素材の設計を行った。



ゴムの運動解析



ゴムの構造解析



リアルなモデル作成



大規模分子シミュレーション



シミュレーション

たんですが、2015年に発表したADVANCEDでは、これに摩擦も追加しました。これに基づき開発した新製品のタイヤでは、グリップ性能と低燃費性能を維持したまま、耐摩耗性能を当社の前モデルから51%も向上することができました。

新素材を開発するとき、方向性はまさに360°あります。どの方向に進めばいいのか。材料開発の方向性が見えるだけでも、開発期間の短縮ができます。今回開発した技術は、そういった点で貢献できるものです。

— 今後はどのように研究を進めていく予定ですか？

ADVANCEDの次はNEXT 4D NANO DESIGNを考えています。現在のADVANCEDはゴム材料だけの技術ですが、NEXTではタイヤ全体まで範囲を広げようとしています。素材が良いはずなのに、タイヤにしてみたら性能が出ない、ということが多々あります。タイヤ性能はゴムの特性だけでなくタイヤの構造（例えばトレッドパターン）も密接に関わっているので、トータルで考える必要があります。

タイヤゴムの内部は本当に複雑でまだまだたくさんわかっていないことがあります。ゴム内部を知れば性能をもっと向上できると思います。夢の話ですが、スタッドレスタイヤと夏用タイヤを

毎年交換するのは不便ですよ。ドライでも、ウェットでも、氷上でも走れる万能タイヤが欲しい。といったことも実現できるかもしれませんね。

— そんな夢のようなタイヤができるんですか？

タイヤのメカニズムに関する理解がさらに深まれば可能かもしれません。でも、交換不要で寿命も長いとなると、メーカーとしてはタイヤが売れなくなるという悩みもありますが（笑）。

— ユーザーには嬉しいですが、企業には悩ましい問題ですね。

ただ、タイヤの世界も構図が変わってきて、グローバルでの競争がますます激化しています。世界に打ち勝つためには、さらなる技術革新がどうしても必要。地域ごとにタイヤに要求される特性は全く異なるので、それぞれの地域に合った製品を素早く開発して展開していくことも必要でしょう。

そして5年先、10年先を見据えた研究が必要で、それにはJ-PARCやSPring-8といった大型施設が欠かせません。このような大型施設が一つの国に存在するのは日本の強みですし、こうした施設を今後も使いながら、さらに分かっていない課題・謎にチャレンジしていきたいです。

— 将来、研究者を目指す若い人達へ向けて、メッセージをお願いします。

最先端の研究は、「物事の真理」を追求する、すごく大切で面白い世界です。まだまだいろんな「なぜ」があって、これが理解できればプレイクスルーが起こる。面白い仕事がたくさんできると思います。研究に限らず、どの世界でも同じでしょうが、日頃から「なぜ」という探究心を大切にしたいですね。

企業で開発した製品は100%当たるわけではありません。10から20のうち、1つでもヒットすればいい方です。しかし、失敗も財産。なぜ失敗したのか、課題が分かれば今後に活かれます。たとえば5年後に、技術が進歩して、その課題が解決するかもしれない。そのためにも、課題を把握し、ストックしておくことが重要です。

私が子供の頃からすれば、現在はドラえもんの世界ですよ。たとえばデジカメ。フィルムがなくても写真が撮れるなんて、どうしたことだ。夢のような機械を作って、世界をより豊かにしていく。探究心を持って進めば、その先には明るい未来がきっとあるはずですよ。

J-PARCの

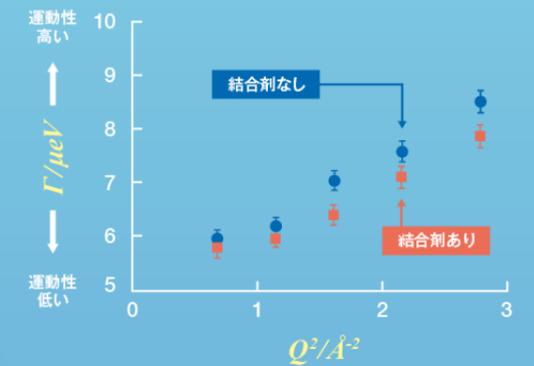
中性子技術とタイヤ開発

X線によるレントゲン撮影と同様に、物質の内部の状態を見る手法の一つとして、中性子を利用する方法があります。J-PARCの世界最高強度の中性子線を用いることで、既存の解析手法では見えなかった現象も、解析できるようになりました。例えばダイナミクスといって、物質の中の分子や原子の動きを高い時間分解能で見ることができ、物質同士の境目である「界面」の様子をナノメートルサイズで詳細に観測することができます。これらの中性子の特性を利用することで、タイヤのような高分子材料の性質を詳しく解析し、新しい技術の開発につなげることができます。

BL02 DNA

中性子準弾性・非弾性散乱装置は、中性子のエネルギーがゴム中のゴム分子の運動エネルギーと同程度であることを利用してゴム分子の運動性を調べることができる装置です。特に、BL02ダイナミクス解析装置DNA分光器では散乱された中性子のエネルギーを分光することでJ-PARCに設置された中性子準弾性散乱装置の中で最もゆっくりとした運動（ナノ秒程度の緩和時間を持つゴム分子の運動に起因する準弾性散乱）を高いS/N比で観測することが可能です。

一連のゴム分子の運動性を調べる実験の中で、DNA分光器では、ゴム中のゴム分子とフィラーを結合させる結合剤の有無でゴム分子の運動性がどのように変化するかを調べる実験を行いました。その結果、結合剤があると運動性が低下することを明らかにすることができました。フィラー界面の改質によってゴム分子の運動性をコントロールできるという新たな知見を得ることで、ゴムの変形時のストレス制御の指針を得ることができました。

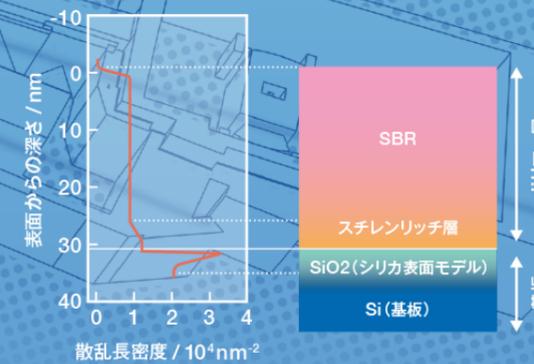


図：運動量移行量 Q に対する準弾性散乱の半幅 Γ （緩和時間 τ の逆数： $\tau = 1/\Gamma$ ）の変化。半幅 Γ が広いほど運動性が高いことを示している。

BL16 SOFIA

中性子線が物質同士の境目である「界面」で反射・干渉の様子を観測することによって、界面から数nm～数百nmに渡ってのナノ構造を評価するための実験装置です。特に、中性子を用いると通常の水素と原子核に中性子が1個余分に含まれる重水素とが区別できるため、注目したい成分を際立たせて観測することが可能です。

タイヤに含まれるゴム分子は「スチレン」というパーツと「ブタジエン」というパーツがランダムに紐状に繋がった構造をしています。SOFIAでは、通常は識別できないこれら2つのパーツのうち、片方を重水素で作成することによって、スチレンがシリカの表面に選択的に吸着されることを明らかにしました。これは、ゴム分子がタイヤ中でフィラーと吸着するメカニズムを理解する上で重要な知見となりました。



BL14 AMATERAS

中性子が試料に散乱される前後のエネルギーとその散乱方向を分析することにより、試料内の原子、分子のダイナミクスを調べることができる中性子非弾性散乱装置の一つです。同じ中性子非弾性散乱装置であるDNAに比べて比較的早い運動まで観測することが可能です。AMATERASではゴム中のフィラー量を変化させながら測定を行い、ポリマーが運動するのにかかる時間を解析により求めました。その運動は、フィラー量を増やしていくと一方的に遅くなるという予想に反して、入れすぎると逆に速くなるという意外なものでした。これはゴムの強さと同じ傾向であり、マクロなゴム強度とミクロな運動性が同じ傾向を示すという驚きの結果でした。このように、AMATERASの実験がゴムの補強メカニズムを探る有効なツールになっています。

