

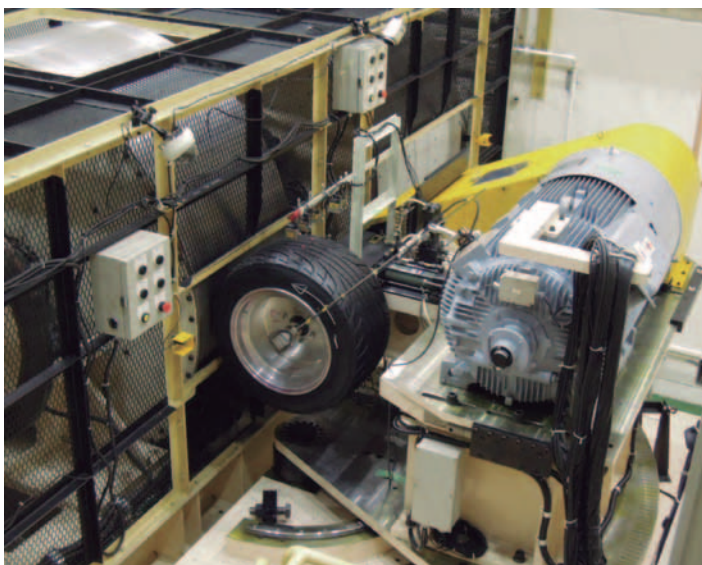
ブリヂストンが開発した“タイヤ踏面挙動の計測・予測・可視化技術”

アルティメット アイ™

そして、その技術を活用して開発された最新の2輪車用スポーツタイヤ

ハイパースポーツ S21

ブリヂストンは昨年(2015年)の11月27日、タイヤと走行面の関係を見ることが出来る“アルティメット アイ”と呼ばれる独自技術とそれを初めて公道用2輪タイヤの開発に使ったバトラックス・ハイパースポーツS21を同時に発表した両者のプレスリリースを転載するとともに、それにかかわったふたりの技術者へのインタビューをお届けしよう



踏面を見ることによって、タイヤはこれまでにない進化を遂げつつある

ULTIMAT EYE (アルティメットアイ=究極の目)と名付けられたこの技術は、従来からあるシミュレーション技術と踏面(接地面)の新しい計測方法を組み合わせることにより、現実には見えないタイヤ踏面を見えるようにした画期的な技術で、2013年に第63回自動車技術会賞(主催:公益法人・自動車技術会)の論文賞を受賞している。

ブリヂストンではこの可視化技術をF1レース用タイヤの開発に生かしたのをはじめ、公道用4輪タイヤではBMWの電気自動車、i3(日本では2014年に発売)の専用タイヤのエコピアEP500オロジック(155/55R19と狭幅・大径の次世代低燃

費タイヤ)に初めて導入。さらにセダン・クーペ専用の省燃費タイヤのエコピアEX20では、耐摩耗性とウェット性能の大幅な向上を実現している。

一方2輪タイヤでは、モトGPクラスのレーシングタイヤの開発で活用。そしてハイパースポーツS21では、公道用2輪タイヤに初めて採用することで、同S20エポと比べてコーナリング性能および摩耗ライフの大幅な向上を両立している。

ブリヂストンにおけるタイヤ計測の歴史は古く、当初は墨でスタンプをとったり、ガラス面に押しつけて目視、その後は圧力分布を見る装置によって接地面の変化などを見ていた。さらにコンピュ

ータシミュレーションにより走行状態を疑似的に再現できるようになったが、20年以上前に実際のタイヤの踏面を見るための研究を開始。センサーを取り付けたドラムを高速で回転させ、それにタイヤを押しつけることで、接地圧、制動・駆動力、横力の踏面内分布を計測するようになった。そして4輪のF1レース用タイヤの開発に使えるよう、時速400kmまで計測が可能なアルティメットアイを完成。数年前、トレッドパターンがあたかも止まっているように見える現在の姿になった。

今回の開発者インタビューは初めて聞く話の連続であり、非常に興味深かった。(中野仁史)

ふたりの技術者に聞く

もともとF1用レーシングタイヤの接地面を見るために開発された独自の技術

ブリヂストンは、ハイパースポーツS21の新製品発表会においてアルティメット アイについても解説したがこのときの説明は10分ほどだった。そこで東京都小平市にある同社の中央研究所を訪ねアルティメット アイとハイパースポーツS21の開発責任者に、編集長の佐藤と中野が直接質問をぶつけた

Photos : Bridgestone and Yasuo Sato



左：松本浩幸さんは中央研究所研究第2部フェロー（研究員）。長年にわたって操縦安定性の研究を続ける中で、F1用タイヤの接地面の効率を上げるためにアルティメットアイを開発した。右：土橋健介さんはMCタイヤ開発部設計第2ユニットリーダーで、専門は構造設計。製造部門を経て4輪タイヤ（スタッドレスを含む）を手がけ、2015年からオートバイ用タイヤを担当。

タイヤの接地面を見るための技術

佐藤：タイヤ踏面挙動の計測・予測・可視化技術のアルティメットアイについて説明してください。

松本：接地面をいかにして見るかが目的の技術です。タイヤの接地面というのは、タイヤと路面の間にあるため実際に見ることはできません。そこで従来はコンピュータシミュレーションで疑似的に接地挙動を再現し、それを画像化していました。

佐藤：一方、アルティメットアイは、実際に回転しているドラムにタイヤを押し当てていますね。

松本：お話ししたように、従来はコンピュータのシミュレーションで疑似的に再現するしかなかったわけですが、現物のタイヤの接地面で実際に何が起きているかを見たいという思いから、それができる手段を開発したということです。

佐藤：どうやって実現したんですか。

松本：専用の装置を開発しました。簡単に言うと、路面に相当する円筒形のドラムの上に微小なセンサーを付けて、それをタイヤが踏んでから離れるまでにどんな力が発生するかを計測します。

中野：ドラムの表面に取り付けられているセンサーはどのような力を測るんですか。

松本：縦、横、荷重の3方向の力です。この3方向のベクトルを分析すれば、すべての力がわかるんです。前後方向の力は、進むとか止まるというときの力です。横方向の力は、曲がる時に発生します。また、荷重は走行状態により変化します。

佐藤：横方向の力はキャンバースラストですか。

松本：キャンバーアングル、あるいはスリップアングルをつければ横に曲がる力が出るわけです。

佐藤：それをこの装置で再現できる。ということ

は、回転するドラムとタイヤの位置関係が自由に変えられるということでしょうか。

松本：タイヤ側が可動します。タイヤを支えているタイヤスタンドが、あらゆる方向に動くんです。

佐藤：2輪車用タイヤでは、ドラムの上で車体を倒し込んで曲がっている状態も再現できると。

松本：進行方向とバンク角を同時に変えられます。

佐藤：ドラムに押しつける力は車重と同じですか。

松本：車重とライダーの体重ですが、走行状態による変動を含みます。ブレーキをかけたときは車体の前方が下がって荷重がかかり、リアは浮き気味になりますから、それを再現するわけです。

中野：今、おっしゃられた高機能タイヤスタンドというのは従来からある装置なんですか。

松本：いいえ。この装置全体がすべて新しいです。

佐藤：従来からあるコンピュータシミュレーションというのは、どういうふうにしていたんですか。

松本：FEM（有限要素法）といって、タイヤを細かいメッシュ状にして、網目ひとつひとつの境界に働く力を計算で解いて、それらをまとめて変形を導き出します。荷重がかかったときにどのようにタイヤがたわむのか、キャンバーが付いたときにどうタイヤがたわむのか、そのときの地面との接触の反力を計算して変形量を出すんです。

佐藤：うーん。私には難しく、具体的にどんなことをしているのかが理解できません。むしろ、新しい可視化技術のほうが理解しやすいです。可視化技術は実測しているわけですから。

松本：そうですね。わかりやすいのは、やはり実測のほうかもしれません。で、わかりやすいから簡単かということと実は実測のほうが難しいんです。なぜかということ、いろいろ問題があってですね…。

それをお話すると、可視化技術のノウハウになっちゃうんですが…。では、タイヤの計測の歴史から説明しますと、もともと私が若いころにはタイヤが止まった状態で見ていました。例えばタイヤに墨を塗って紙に押しつけてスタンプをとるとか、ガラスに押しつけて下から見るとかですね。それで、接地面の形がどのようになっているか、キャンバーを付けたらどうなるのか、というようなことをしていました。

中野：昔、水を張ったガラスの上を走って下から水はけを見る、というのを見たことがあります。

松本：それで、内部構造を変えたら接地面が変わるかというようなことをやっていました。そのうち、圧力分布を色で見ることができるようになってきました。靴屋さんにある、裸足になって乗ると体重のかかり具合や足の裏の形がわかるという装置と同じです。圧力分布を見て、ここに圧力がかかりすぎている、ここは足りないという具合に。

中野：そうなったのは何年ぐらい前からですか。

松本：30年ぐらい前には圧力分布を見ることができるようになっていました。ただ、市販の圧力センサーというのは目が粗いという問題がありました。足の裏を見るだけだったら目が粗くても問題ないんですが、タイヤの場合は役に立ちません。そこで、もっと細かく見ることができると高解像度、高解像度のものを、自分たちで造って来ました。

佐藤：お話はわかりますが、回転しているドラムに精度の高いセンサーを付けて、なおかつ微速から超高速で正しく作動させるというのは、えらく難しいのではないですか。

松本：初めの段階では、人が歩くぐらいのゆっくりとした速度で圧力分布を見ていました。それでもタイヤって、止まった状態と転がった状態とは変わるんですよ。そのうち、圧力だけではつまらないので、止まるときの力というのはどういうふうに分布しているんだろう、曲がる力はどんな分布で力が出ているんだろう、というのを見られるようにしました。さらに、速度を上げるとどんどん変わってくるので、実際にクルマが走っている速度で見えるようにしようということで、この可視化装置を造ったんです。ただ、いろいろ問題がありました。一例を挙げると、速度が上がると遠心力の問題が出てくるんです。

佐藤：遠心力が出てくると、どうなるんですか。
 松本：センサー自体がドラムに付いているので、遠心力の影響が出てくるんです。かなり高速で回すので、それによる変な力が働いてしまうんです。
 佐藤：資料に時速400kmと書いてありますよね。
 松本：それは4輪のF1で使いたかったからです。
 佐藤：人が歩くような速度から時速400kmまで、誤差なく伝えてくれるセンサーなんて、それ自体売ってないですよ。やはり内製なんですか。
 松本：センサーのメーカーに、特別に造ってもらいました。この可視化装置は、数多くの業者さんやメーカーさんの協力の下にできているんです。
 佐藤：時間もお金も相当に必要だったでしょうね。
 松本：そりゃもう、すごかかりました。この装置だけで10年を費やしましたが、これの前の予備検討の装置を含めると20年以上ですね。
 中野：その予備検討の装置とこのアルティメットアイとは性能の違いは大きいんですか。
 松本：今から考えると、予備検討のほうはオモチャでした。それでもけっこう役に立ちまして、そこで得られた要素技術を積み上げて、最終的な形にしたのがこのアルティメットアイなんです。
 佐藤：オモチャと呼ぶ最も大きな理由とは。
 松本：解像度が全然違います。テレビで例えると、ブラウン管テレビから4Kテレビになったという感じです。それと速度ですね。予備検討のときは100km/hぐらいまでしか測れませんでした。
 中野：アルティメットアイのドラムに埋め込まれているセンサーの密度は、どれぐらいなんですか。
 松本：詳しくは申し上げられないんですが、4輪用タイヤの細かいトレッドパターンのエッジに、どのような力がかかっているかというも見られないといけないので、それなりに細かいですよ。

接地面の状態は色で表示される

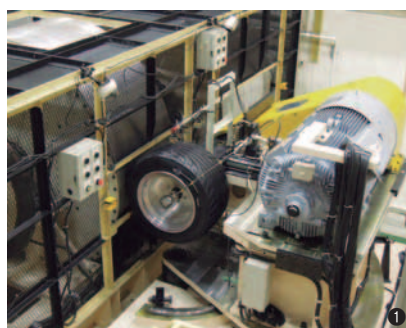
佐藤：技術資料にホイール6分力計とあり、“走行中のタイヤ軸力と接地反力の同時計測”と説明されています。この6分力というのは何ですか。
 松本：車軸にかかっている力です。先ほど出てきた、縦、横、荷重の3つと、縦、横、荷重方向の軸回りモーメントの3つの、合わせて6つです。クルマやバイクは、車軸に働く力で走っています。ですので、車軸の力を常に計測して、それと接地面で計測した結果を常に突き合わせているわけです。そうすることで高い精度を確保しています。
 佐藤：この可視化装置によってトレッドを色で表示していますが、色の意味を説明してください。
 松本：接地圧の赤いところは面圧が高いということで、青いところは面圧が低いということです。巡航しているときは全体が黄色で、トラクションをかければ全面的に赤くなるというのが理想です。
 佐藤：実際にそうするというのは難しいでしょう。
 松本：確かに難しいです。でも、こうして可視化することによって無駄なものを減らしていく、接

地面を有効に使うことができるようになります。
 佐藤：世界的規模で考えたら、この可視化装置によってエネルギーの膨大な節約になりますね。
 松本：そうです。乗用車の低燃費タイヤにはグーディングという格付けシステムがあって、転がり抵抗性能はA、AA、AAAのうちAAAが最高で、ウェットグリップ性能はa、b、c、dのうちaが最高です。その2つの最高グレードを取ることをクワトロAというんですが、それを獲得したエコピアEX20は、この可視化装置で開発しました。
 佐藤：解説にあるエコピアEP500オロジックとは。
 松本：エコピアEP500オロジックはBMWのi3という電気自動車に標準タイヤとして採用されている次世代の低燃費タイヤで、狭幅・大径サイズで高内圧とすることで、既存の低燃費タイヤよりもはるかに転がり抵抗が少なく、ウェット性能も高い。その次世代タイヤもこの装置で開発しました。
 佐藤：EP500オロジックのコーナリング力を可視化した図は、接地部分がほとんど真っ赤ですよ。それに耐摩耗性の図も、全体的に赤っぽいですね。
 松本：接地面を最適化するとグリップもよくなるし、滑りも減るので、摩耗性もよくなるんです。
 佐藤：グリップのいいタイヤというのは減りが早いと思っている人が多いんですが、設計のし方によって摩耗性も両立するんですよ。
 松本：コーナリング時の図を見ると、接地面圧分布の青いところは浮いているので滑ってしまい、横力分布も色が薄くなっています。ここをしっかりと接地させてやることで、グリップが向上するだけでなく摩耗性もよくなります。
 佐藤：面圧はあくまでも圧力ですから、それが低いのをトレッドパターンで変えられるんですか。
 松本：面圧は、パターン、形状、構造などで直す

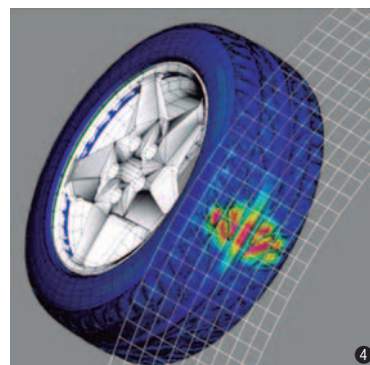
ことができます。そうして均一に接地するようにして、グリップ力と摩耗を改善させられます。
 佐藤：片減りなんかもしにくくできるんですか。
 松本：もちろん、そういうのも直すことができます。エコピアEX20という乗用車のタイヤでは、コーナリング時の面圧がショルダー部分に偏っていたものを直すことで片減りを抑えました。
 佐藤：EX20はウェット性能も高めたとあります。
 松本：はい。従来からあるEX10とEX20のウェット時のブレーキ力を比べた図を見ると、接地部分が均一に真っ赤になっているのがわかると思います。そうすることでウェット性能を上げました。
 佐藤：タイヤ踏面内の接地圧分布と剪断力分布を最適化とありますが、これを教えてください。
 松本：ショルダー端に集中していた接地圧を、トレッド全体に分散させたということです。そうしたことも、実際に走っている状態で見ないといけません。現実を見ないと最適化のしようがないんです。この可視化装置の意味はそこにあります。

可視化技術によって高度な開発を実現

佐藤：走っている状態を再現するというときのデータは、つまり、テスト時にアルティメットアイの装置に入力するデータですが、これは実際に走って得るものなんですか。
 松本：実際に走ってデータを得るという場合もありますし、シミュレーションでやることもあります。我々は実走のデータもかなり持っていますので、計測データとシミュレーションを突き合わせて、どういう状態でクルマを走らせればどういう力が働くかというのは、すべてわかるわけです。
 佐藤：タイヤの開発では、最終的にはプロトタイプを造って、テストドライバー、あるいは



- ①タイヤを保持するスタンドは曲線レールに乗っていて、最大60度のキャンバールを与えることが可能。
- ②FEM=有限要素法では、タイヤを細かいメッシュ状に分割して動きを解析。
- ③複数個の超小型接地反力センサーを埋設したドラムの直径は2mと巨大だ。
- ④スキャンニング時間はおよそ10~20分で、踏面の挙動は画像で表示される。
- ⑤BMWの電気自動車i3のために開発した低燃費タイヤのエコピアEP500オロジック。155/55R19と狭幅・大径。



は食いついている、といった状態を数式化するのは本当に難しい。そういう状態は実際に見るしかありません。それによって現実がわかりますから、そのデータをコンピュータシミュレーションにフィードバックすることができるんです。

佐藤：実際に見えるようになったら、コンピュータシミュレーションはいらないのではないですか。

松本：いや、それによって、可視化技術とシミュレーションの双方のレベルを上げることができるんです。ですから、技術資料も矢印ではなくて輪っかのようなサイクルで示しているんです。コンピュータシミュレーションにも利点がいろいろあって、例えば現実では不可能な、ある条件だけを変えたらどうなるかということができるんです。現実のデータがあるからこそ、コンピュータシミュレーションのレベルも上がります。だから、相乗効果でぐるぐる回る矢印になっているわけです。

グリップ力と耐摩耗性を両立

佐藤：S21では主にどこを改良されたのですか。

土橋：主によくしたのは、ドライグリップです。軽快性と限界域でのグリップは、ちょっと上げています。ウェット性能は現状でも充分なのでキープして、ライフは長いほうがいいと考えました。

佐藤：グリップはどうやって向上したんですか。

土橋：トレッドパターンを変えることで接地面積を上げるとともに、新しいコンパウンドをショルダーに乗せています。この2つがメインですね。

佐藤：なるほど。軽快性はどのようにして…。

土橋：主にパターン剛性とフロントタイヤの形状でやっています。フロントの形状は、リアとは逆にショルダーを小さくして、キャンバーを付けたときの接地形状を伸ばしました。これによりキャンバースラストを稼ぐことができるわけです。

佐藤：確かに深く倒し込んだときの図では、キャンバースラストが大きくなっています。

土橋：限界域での旋回力を上げているわけです。

佐藤：キャンバースラストはわかるんですが、オーバーターニングモーメントというのは何ですか。

土橋：タイヤを傾けたときに働く、起き上がる力とする力です。それを少し落としているということです。要は、寝かし込むときの軽さですね。倒し込んでいくときの反力を小さくしたわけです。

佐藤：スロットルのオンとオフのどちらですか。

土橋：どちらかというと入りの倒し始めですね。

佐藤：スロットルオフでコーナーに入っていくタイミング、そこを軽くしたということですね。

土橋：軽くなっています。フロントはそういう性格で、切り返しのときの倒し込みを軽くして限界のコーナリングの旋回力を上げるという形状です。

中野：それは形状だけですか。内部構造などは…。

土橋：内部構造はほとんど変えていません。クラウン形状とトレッドパターン、それとコンパウンドです。パターンは、フロント、リアともにショ

ルダー部分の溝の領域を減らし、接地面積を増やして旋回性を高めています。コンパウンドはエッジ部分を変えてグリップを高めています。コンパウンドでグリップを高めるには2つの手法があって、ひとつは、摩擦、我々は「ロス」と呼んでいます、それを上げる。もうひとつは接地面積を広げる。今回は後者で、

マイクロレベルで接地面積を稼ぐ方法をしています。

佐藤：単純にゴムを柔らかくしただけではないと。

土橋：そう、柔らかくしただけではありません。

松本：路面に押しつける速度にもよるので、単純に柔らかければいいというわけではありません。

佐藤：モトGP用のレーシングスリックと違って、公道用のS21だと歩く速度から300km/hまで対応していなければならないわけだから大変ですよ。この図の路面の凹凸はミクロン単位ですか。

土橋：路面の凹凸なので、ミリ単位だと考えていただいといます。それを実際に接地した状態を拡大したもののがもうひとつの図で、路面とタイヤの間に感圧紙を挟んで計測しています。赤い部分が圧力がかかっているところで、S21ではその赤い面積が広がっているのがわかります。

中野：この図はぜひぶんアナログなんですね。
佐藤：アルティメットアイでは、路面の凹凸とどのように接地しているかは見ていないんですか。

松本：現時点ではやっていません。ただ、コンピュータシミュレーションを組み合わせると、疑似的にはやっています。凹凸のある路面は、このように赤いところしか接地しなくなりますが、そういう接地しているところに面圧が集中していくわけです。そうした路面の粗さによって面圧が変わるとい

情報と、計測データとの両方を合わせてコンピュータに入れてシミュレーションすることで、そういう凹凸の路面だったらどうなる、というのを可視化した画像の状態で見ることができるのです。面圧が高くても接地している面積が小さいと、そのぶん接地性が減るなどがわかるわけです。

佐藤：耐摩耗性もよくしたということですが…。

土橋：摩耗ライフは、アルティメットアイを使って大きく進化したところ。クラウンのアールをフラットにすることで、滑り域を減らしました。
佐藤：タイヤって、滑ることで摩耗するんですか。
土橋：そうです。例えば、消しゴムを机の上にベタッとくっつけたら減りませんが、ゴシゴシこすったら減りますよね。それと同じことです。

佐藤：つまり、スーパーカブがゆっくり走っていてもタイヤが減るのは滑っているからなんですか。

松本：トラクションをかければ、タイヤが頑張っ



て回ろうとするんですね。それで、地面から離れるときにはツルツと滑ることになる。その繰り返しによって、ちょっとずつ減っていくわけです。

佐藤：なるほど。それで耐摩耗性の向上では、特に今回の可視化技術が生きたということですか。

土橋：そうですね。これがなかったら遠回りしていたというか、ここまで摩耗ライフを上げられたかどうかわかりません。新しいコンパウンドはショルダーのみで、センターのコンパウンドはS20エボと同じなんです。それで、クラウン形状を変えるだけで摩耗性を約30%向上できましたから。

佐藤：デメリットなしのメリットですね。

土橋：そうです。あえて言えば、クラウンのアールを大きくするというのはフロントと逆で、少し倒し込みが重くなる方向にはなるんですけど。

佐藤：S21は、フロントのラウンドを小さく、リアを大きくすることで、フロントを先に寝かせてリアを少し粘らせる。軽快だけ安定性がある程度までいったらライダーがスロットルを開けられる。それを狙った形状じゃないですか。

土橋：確かに、おっしゃるとおりです。

佐藤：だったら、デメリットじゃないですよ。

土橋：デメリットというよりも、まだそういうチューニングができる範囲があったということです。

佐藤：摩耗性を30%向上させたわけですが、これはドラムの上でのテストですか、それともテストコースや一般公道を走ったときですか。

土橋：一般公道です。詳しく説明すると、イタリアのある島でテストライダーが走って測りました。

中野：ユーザーと近い使い方をしたわけですね。

土橋：そうでないと意味がありませんから。

佐藤：島を周回する道だったら、それなりにワインディング部分も含まれていますよね。

土橋：全体の3割か4割はワインディングです。

佐藤：平らな道路での摩耗性はどのなんですか。

土橋：平らなところを走っても、30%はよくなると思えると思います。今はドラムを使った室内試験もできるようになっていますので、それでも確認をしています。二重に確認しているわけです。

佐藤：なるほど。今日はありがとうございました。

(まとめ：中野仁史+佐藤康郎)