

97%石油外資源タイヤの開発

住友ゴム工業株式会社
タイヤ技術本部 A T 開発部

和田 孝 雄

1. 緒言

近年、環境対応商品は、企業にとって重要な課題であり、自動車産業においても、燃料である石油資源の使用を減らしたハイブリッド車、電気自動車を開発することで、CO₂ 排出削減、資源の保護に貢献している。

自動車用タイヤに関しては、石油ショック以降タイヤのころがり抵抗の改善が、車の走行時の燃料消費を減らすための重要な技術課題である。材料面では、地面と接するトレッド面のゴムの素材として、溶液重合SBR やシリカによりウェット性能ところがり抵抗を高度にバランスさせる技術が進化してきた。

一方、資源の保護という観点でタイヤに使用している材料に注目すると、将来枯渇が予想される石油由来の原材料が半分以上である。

タイヤ製造メーカーである当社は、地球環境へ貢献するテーマとして、①いずれ枯渇する石油由来の原材料を減らすこと、②タイヤのころがり抵抗の改善により車の走行時の燃料消費を減らすこと、を目指して2000年に石油外天然資源タイヤという概念を生み出した。空気入りタイヤが開発された時のタイヤ原材料は、天然ゴム、白色充てん剤が主体であり、その後の自動車の高性能化と環境問題への対応のためにタイヤが進化した中で天然資源に材料を置き換えるということは、100年のタイヤの歴史への挑戦になる。

2. 石油外材料の検討

2.1 タイヤの石油由来材料の使用状況

図1に示すようにタイヤの中には多くの部材が含まれており、走行に寄与する性能（荷重を支える、曲がる、止まる、ショックを吸収する）やタイヤの基本特性（摩耗性能、空気を保持する性能、接着性や亀裂の成長を防止する性能）を発揮するため、それぞれの部材が機能を分担している。材料を大きく分けるとゴム、スチールコード、テキスタイル（有機繊維の織物）コードに分かれる。ゴムには、合成ゴム・カーボンブラック・鉱物油・老化防止剤などの石油由来の材料と天然

ゴムやシリカなど石油や石炭以外の資源による原材料（以下石油外材料と呼ぶ）が使用されている。スチールコードは石油外材料であり、テキスタイルコードはポリエステルやナイロンなどの石油由来の合成繊維が主に使用されている。

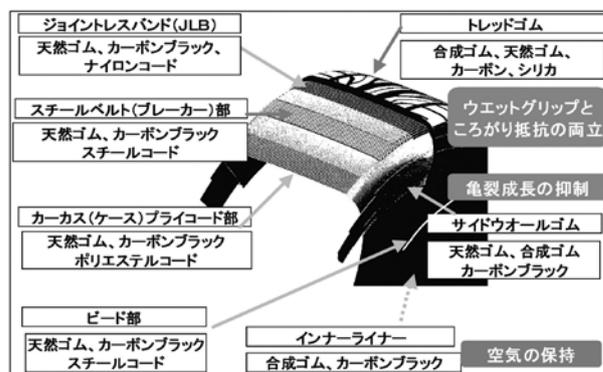
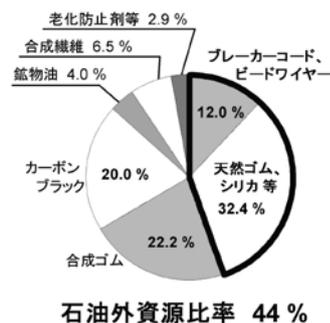


図1 乗用車用タイヤ構造、各部材と一部の課題

図2に現状の標準的なタイヤの材料構成比を石油外材料と石油由来の材料に分けて円グラフにした。代表的なサイズでは、石油外材料の比率は44%と半分以上である。これは、100年の空気入りタイヤの高性能化とともに石油由来の原材料が進化した結果である。



* 住友ゴム工業㈱で生産される乗用車用タイヤの材料平均重量構成比(サイズ=195/65R15 91S)

図2 標準的なタイヤの材料構成比

現在置き換えることのできる石油外材料は、ポリマーとして天然ゴム、充てん剤として無機充てん剤のシリカ、軟化剤として植物油、コードには植物性再生繊維（レーヨンコード）を検討した。石油外資源タイヤの開発当初、これらの材料を全て適用した時に97%まで石油外資源材料のタイヤを作ることが出来

た。しかし、この時のタイヤは大きく走行性能が低下し、雨天時の路面では、止まる性能（以下ウエットグリップ性能と呼ぶ）が悪化し、また基本特性として空気を保持できない。接着性に劣り、亀裂の成長にも劣るといった課題を持っていた。

特に技術的にハードルが高かったのは、タイヤに多機能を持たせるために多様化した合成ゴムが使えないことである。天然ゴムを多機能化させるため化学修飾を検討し、官能基を持つ天然ゴムを使用することで、後述する ENR テクノロジーを開発することができた。

2.2 天然ゴムの改質技術

天然ゴムと合成ゴムの特徴の違いを説明する。天然ゴムのメリットは分子が長く、官能基（枝葉）が小さいため、変形によるエネルギーロスが小さくタイヤが転動する時の抵抗（ころがり抵抗）が小さい特性を持っている。一方ウエットグリップ性能は、路面に接触する時のゴム変形時のエネルギーロスが小さいために劣っている。その他後述するように天然ゴムは官能基（枝葉）をコントロールできないために、空気を保持する性能、亀裂を抑制する性能が劣っている。

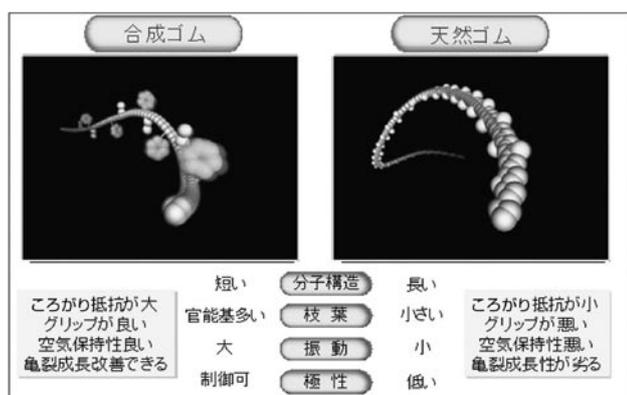


図3 天然ゴムと合成ゴムの違い

天然ゴムの高機能化の研究については、過去にマレーシアの研究機関であるマレーシアゴム研究所 (RRIM) によって精力的に進められており、天然ゴムの化学的な修飾として、ニトロソやアゾ化合物の付加反応等の研究や、最も簡単な化学修飾の一つとしてエポキシ化の研究を発表している。当社ではもっとも工業化に近い手法として、エポキシ化天然ゴム（以下 ENR と呼ぶ）を適用した。この材料を使用する技術、配合技術を総称して ENR テクノロジーと呼び、3つの EN ラバーを開発した。

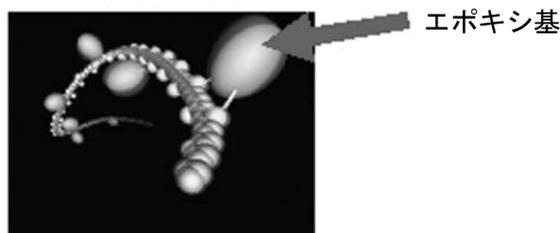


図4 改質天然ゴム（エポキシ化天然ゴム）

2.3 各課題に対する EN ラバーの開発

2.3.1 トレッドゴムへのエポキシ化天然ゴムの適用

トレッドゴムはタイヤの表面にあり、路面と接する部材である。特にウエットグリップ性能ところがり抵抗の両立が一番の課題である。ころがり抵抗はタイヤが走行速度で1周回転する周波数（低周波数）でのエネルギーロスが小さいほど良く、またウエットグリップ性能は路面の凹凸をトレッドゴムが乗り越える時の変形速度（高周波数）でのエネルギーロスが大きいほど良い。一般にエネルギーロスは粘弾性で評価し、ポリマーの温度-周波数換算則を利用してウエットグリップは高周波の代わりに低温のエネルギーロスの値で、ころがり抵抗は低周波数の代わりに高温でのエネルギーロスの値で評価することが出来る。

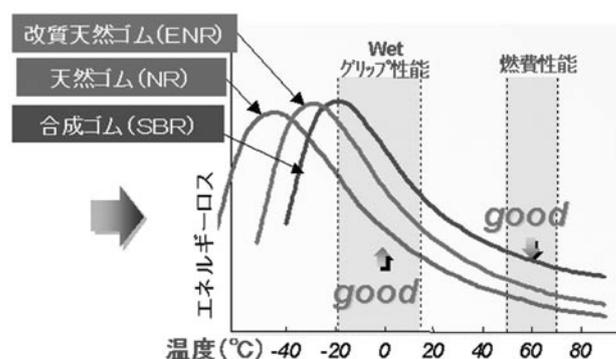


図5 改質天然ゴムのエネルギーロスの温度依存性

合成ゴム (SBR) にはベンゼン環やビニル基のような大きな官能基が存在するため、低温でのエネルギーロスが大きく、ウエットグリップ性能を発揮することができるが、天然ゴムは、メチル基のような小さな官能基しかないため、ウエットグリップ性能を満足させることが困難となる。そこで天然ゴムに官能基を導入したエポキシ化天然ゴムのエポキシ基の量により、エネルギーロスの温度依存性をコントロールし、ウエットグリップ性能を一般タイヤ並みに向上させることができた。

2.3.2 改質天然ゴムによる亀裂成長の抑制

走行性能のうちショックを吸収する性能は、タイヤの側面に配置するサイドウォール部がたわむことにより発揮される。一方でタイヤが転動する時サイドウォール部は一周に一回たわむため、3万 km も走行すれば2000万回もの屈曲を繰り返すことになる。

この屈曲の繰り返し変形により、ゴムの内部に微小なクラックの起点が発生し、天然ゴムの場合は亀裂が成長することで下記のようなクラックが発生する。

一般的なタイヤでは天然ゴムと合成ゴム（ポリブタジエンラバー）のブレンド練りにより、下記中央の海島構造を形成（1ミクロン以下）し、ナノレベルのクラックが伝播しない。天然素材で合成ゴムの役割をする材料として極性の高い改質天然ゴム（ENR）を適用し、ゴム練工程で植物油を適用し同様の海島構造により亀裂成長性能を改善することができた。

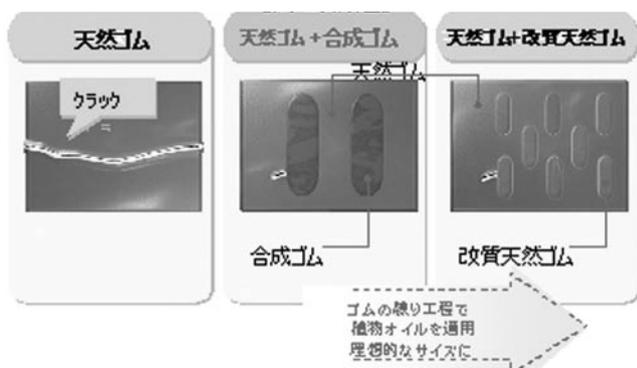


図6 海島構造によるクラック伝播防止

2.3.3 改質天然ゴムによる空気保持性能

基本性能のうち空気保持性能を備えるために、一般的にブチルゴムを使用している。ブチルゴムは天然ゴムの倍程度の官能基（メチル基）を持っており、その分子運動性によりゴム中の空気の移動を抑制し空気透過速度を10分の1以下に低減することができる。一方でエポキシ化天然ゴムを適用することで官能基（エポキシ基）が空気透過速度を低減できる。配合処方との組み合わせによりブチルゴムと同等の性能のENラバーを開発することができた。

3. 製品化と今後の展望

ENRテクノロジー（3つのENラバー）を開発することで課題であったウェットグリップ性能とろがり抵抗の両立、亀裂成長の抑制、空気の保持といった基本的な性能を備えながら、石油外材料の比率を97%まで引き上げることに成功した。

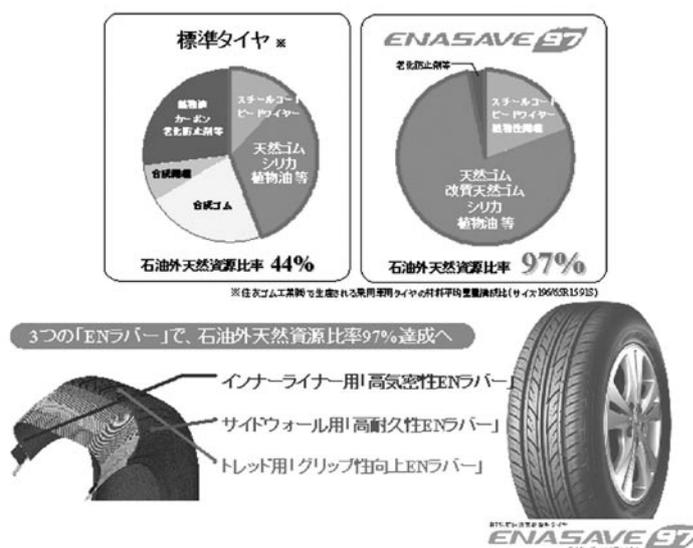


図7 取り入れた技術と石油資源材料の重量構成比

当社では、製品として2008年6月に『97%石油外天然資源タイヤ』ENASAVE97を発売した。このタイヤは専用のパターンや各部材にエネルギーロスの少なくなる充填剤シリカを適用し、一般的な走行性能、耐摩耗性能、基本耐久性を満足しながら、当社の市販タイヤEG201対比で35%ころがり抵抗を下げることが可能になった。一般的な走行では、車使用時の燃費を7%低減する効果がある。

一方LCAを計算すると、植物材料を多く使用しているため、原材料製造工程でのCO₂排出が少なく、またタイヤを廃棄し、燃焼させる時には、カーボンニュートラルの考え方を取り入れるとCO₂を排出しないと考えられることができる。

まとめると、以下の3つの効果がある。

- (1) 石油外材料の比率を44%から97%に高め、原材料として枯渇する資源である石油消費量を低減。
- (2) 従来の当社タイヤ比でウェット路面でのグリップ性能を同等にしながろがり抵抗を35%低減し、車両走行中の燃料消費を低減。
- (3) 地球環境にとってのCO₂排出削減に対しては、作る時：▲17%、使う時：▲35%、廃棄する時：▲94%の3つの効果（Reduce3と呼ぶ）によりタイヤ1本で36%のCO₂排出を削減できる。

更に当社では、更なる石油外資源比率の向上を目指し、念願である100%石油外天然資源からなるタイヤの開発にも取り組んでいる。