

タイヤ技術の系統化

Systematic review of tire technology

石川 泰弘 Yasuhiro Ishikawa

■ 要旨

タイヤは、もともと車輪から始まっている。車輪の始めは丸太を使うとか、それを輪切りにするとかして使っていた。さらに荷車や馬車の車輪として使われて行った。

その後、19世紀の中ごろ、はじめて空気入りタイヤがR.W. トムソン（Thomson）によって発明された。19世紀末には、自動車のための空気入りタイヤが開発された。

日本のゴム工業もこの時期、19世紀後半（明治の半ば）にはじまっている。その後タイヤ工業へと発展した。

日本のタイヤ工業の発展は三期に分けるのが妥当ではないかと考える。

（第Ⅰ期）黎明期—明治期。日本のゴム工業の黎明期に当たっており、初歩的発達をみた。

日本ゴム工業の始まりは、土谷護謨製造所が創設された1886年（明治19年）とするのが一般的である。グッヂョイヤーによる加硫発見（1839年）から約半世紀後である。

（第Ⅱ期）成長期—大正初めから第二次大戦終戦まで。海外からの技術導入と国産技術化時代（大正～昭和終戦まで）。この時期に国内タイヤメーカーが誕生している。その後戦争の勃発と終戦までは自前技術を発展させ軍事物資としての役割を担った。

（第Ⅲ期）成熟期—戦後から現在まで。戦中は各社とも被害を受けたが、戦後戦禍から立ち上がって、その後のモータリゼーションの発展に伴って急速に発展し今日に至った。

この中で第Ⅲ期の戦後のモータリゼーションの時代は更に三つの時代（1期、2期、3期）に分けられる。

1期は新規原材料が登場した時代であった。それはナイロンという合成繊維の登場であり、合成ゴムの登場であった。この時代は新規原材料を使いこなすための加工技術の時代でもあった（戦後～1960年代）。

2期はタイヤ構造がバイアスタイヤからラジアルタイヤへ変更した時代であった。タイヤ構造が大変化を遂げると同時にそれに伴ってベルト部にスチールコードを使うという材料の大きな変化と製造設備も大きな変更を遂げた。

3期は従来の各要素技術群を総合化し、ラジアルタイヤの性能を向上させた時代である。はじめは、ラジアルタイヤの耐久性の完成の時代であった。スチールコードとゴムの接着問題やゴムの疲労破壊などの耐久性の確保の時代であった（70～80年）。

その後、運動性能の時代があった。燃費性のよいタイヤは転がりやすいので止りにくいという安全性に問題があった。この背反事象の解消問題は現在まで続いている。さらに騒音、振動などの感覚要素が重要視されて総合的完成度の高さが要求されるようになった（80年～現在）。

戦後の技術を見ると大きく言うと技術の進展が、材料（新原料：ナイロン、合成ゴム）、構造（ラジアル化）、材料（ラジアルの材料耐久性、SBRの多様性による転がり抵抗低減）、構造（感覚、感性、音、振動、乗り心地）と言う具合に対応技術として材料、構造が交互に現れている。

これらの歴史を振り返ると大きなブレークスルー、たとえばバイアスタイヤからラジアルタイヤへの変更、合成ゴム、合成繊維やスチールコードの登場などの画期的技術に日本はあまり寄与していない。しかしその後のタイヤ産業における日本の存在感は揺るぎないものがあり、結局のところ、それはものづくりを基盤とする詳細技術力を集積するという産業力の力が大きかったと言える。しかし今後の環境問題対策の深刻さは、更に大きな壁を突破すべきことを示している。

■ Abstract

The start of tire history is the use of wheels, made from a log or its x-section. In addition, these tires commonly used in cart or horse cart as the wheels. A pneumatic tire was originally invented by R.W. Thomson in the middle of 19th century. Then in the end of 19th century a pneumatic tire for automobiles was invented. The start of rubber history in Japanese rubber industries had started at that time, the latter half of 19th century. Then the tire industry originated from the rubber industry had been developed. The history of Japanese tire industries are divided into three stages as follows;

Stage 1 : the dawn of new age

This period in the Meiji era corresponds to the dawn of new Japanese rubber industry age with the elementary development in Japanese rubber industry. It is generally known that the foundation of Tsuchiya Rubber Industry in 1886 (19 Meiji era) is the start of Japanese rubber industry, approximately fifty years after the invention of vulcanization by C.Goodyear in 1839.

Stage 2 : growth age

This period from the beginning of the Taisho era to the end of world war II means the times that a rubber technology had been introduced from the foreign countries. Also domestic industry had been developed in the same period due to an introduction of new technology brought from the foreign countries. The domestic tire manufactures were also founded at the same period. Then domestically—developed tire technology showed the drastic growth during the World War II and played an important role as the military supplies.

Stage3 : maturity age

This stage means the age from the end of World War II to the present times. Although the tire manufactures were significantly damaged by the World War II, the tire manufactures rapidly recovered from those damages and then the tire technology drastically developed with the expansion of motorization. This period with developed motorization after the War is divided into three parts.

The primary period is the age that new materials such as Nylon and synthetic rubber were developed. And this period is often compared to the age of the processing technology that new raw materials were adopted for the tire.

The second period is the age that a tire construction was totally changed from bias tires to radial tires. With the significant development of the tire construction, not only the major change of the materials such as the use of steel cord but also the modification of the production equipment has been achieved.

In the third period each elemental technology was assembled, resulting in the further development of the steel radial tire. And the durability of the steel radial tire was completely developed in this period. In other word the third period is the age that the following properties, rubber/steel cord adhesion and fatigue of rubber during the duration of the radial tire had been accomplished.

After this period better motion performances of the tire were required. However, it was well known that the tires with lower rolling resistance had a problem with lower skid resistance. This is still major issue being trade-off each tire performance in the present day. In addition the improvement of ride quality such as the reduction of noise and vibration, was to be more important in the tire performances. Therefore, higher dimension of the balance in tire performances has been required from the 1980's to the present day.

After world war II, many epoch-making technologies have been developed in such as raw materials and construction change. Then these changes alternatively took place in the tire technology developments. Considering the tire history, it is difficult to summarize that Japanese tire technologies has contributed to the new technologies as mentioned above. However, recently a presence of Japanese tire technologies has been more recognized in the tire industry, resulting from the consolidation of those technologies. In the next decade the countermeasure for environmental issue will be seriously required and therefore new technology should be developed in order to break through this major issue.

■ Profile

石川 泰弘 Yasuhiro Ishikawa

国立科学博物館産業技術史資料情報センター主任調査員

昭和44年 3月 東京工業大学大学院理工学研究科修士課程修了
同 年 4月 横浜ゴム(株)入社 研究所勤務
平成 5年 10月 同社 タイヤ材料設計部長
平成 8年 7月 同社 材料配合研究室長
平成13年 7月 同社 理事
平成15年 7月 同社 技師長
平成17年 7月 同社 顧問
平成20年 1月 退任
平成13年度～14年度 日本ゴム協会副会長
現 在 日本ゴム協会 研究部会
成形加工技術研究分科会主査
工学博士

■ Contents

1. はじめに	3
2. タイヤの創生	6
3. 日本ゴム工業の黎明期（初期の配合技術の時代）...	12
4. 成長期－国産タイヤ工業の創生	19
5. 成熟期－モータリゼーション時代	28
6. ラジアルタイヤの成熟化時代	44
7. 性能付加を要求されるタイヤに関する各論的記述 ...	67
8. 技術の流れ総括	74
登録候補一覧.....	81

1 はじめに

1.1 タイヤ技術の概論

タイヤは自動車というシステムを成立させるための重要部品である。

タイヤの機能は次の4つであるとされている¹⁾。

- ・荷重を負担する（支える）
- ・ばねとしてはたらく（吸収する）
- ・駆動、制動力を伝える（伝達する）
- ・車を操縦しやすくする（曲がる）

これらの機能は、タイヤが車の部品として車と路面との間に介在し、相互の関係を成立させるための必須機能である。

タイヤ技術は、これらの機能を達成させるためにやってきた開発の歴史である。その技術の広がり大きく、多くの素材を組み合わせて使用し、タイヤというシステムとして構成し、さらにそれを車というシステムに部品として入れ込むという複雑な役割を担っている。このようにタイヤ技術は広がりが大きく、産業のなかで重要な位置を占めてきた。

タイヤはゴム製品であり、タイヤが登場する前にゴム技術の歴史があった。その後19世紀にタイヤは発明された。日本も遅れてその道をたどった。

1.2 日本のタイヤ技術の流れ（系統化）（図 1.1 参照）

日本のタイヤ工業を技術の歴史で見た時、三期に分けるのが妥当ではないかと考える。

（第Ⅰ期）黎明期—明治。日本のゴム工業の黎明期にあたっており、初歩的発達をみた。

（第Ⅱ期）成長期—大正初めから第二次大戦終戦まで。大正から昭和の初めまで外国の技術を導入するかもしれない、独自技術を立上げて発展させて行った。その後戦中時代には軍事物資としての役割を担った。

（第Ⅲ期）成熟期—戦後から現在まで。戦中は各社とも被害を受けたが、戦後、戦禍から立ち上がって、その後のモータリゼーションの発展に伴って急速に発展し今日に至った²⁾。

この中で第Ⅲ期の戦後のモータリゼーションの時代は更に三つの時代に分けられる。

1期は従来のバイアスタイヤに新規原材料が入って来た時代であった。それは補強材が綿、レーヨンが主体だったのに対してナイロンという合成繊維の登場であり、更に天然ゴム以外の原料ゴムとしてSBR（スチレンブタジエゴム）、BR（ブタジエンゴム）などの合成ゴムの登場であった。この時代は新規原材料の登

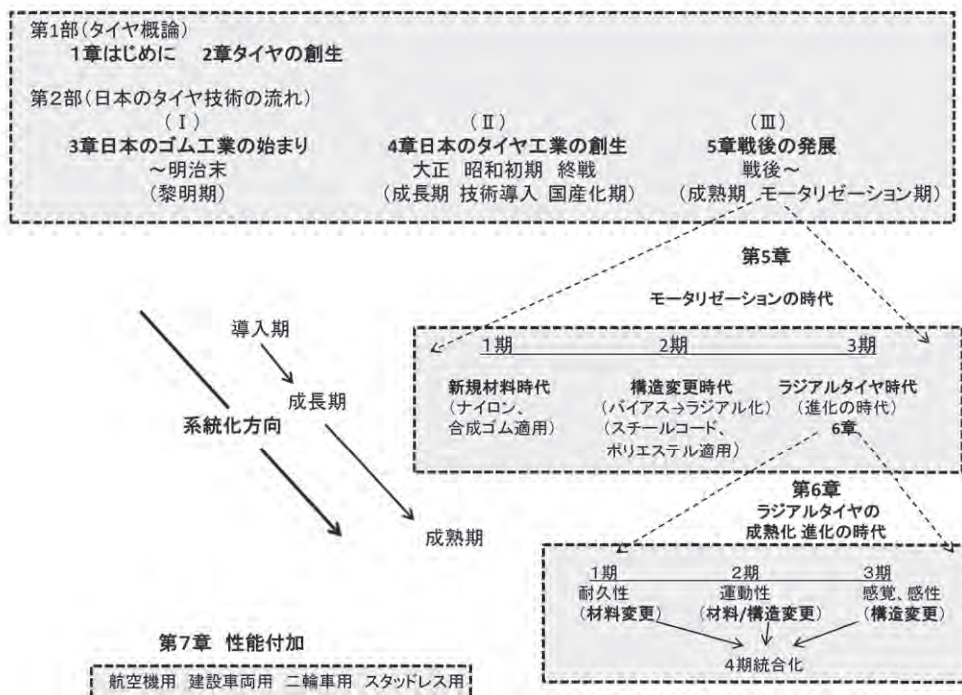


図 1.1 タイヤ技術の流れ（系統化）

場によってそれらを使いこなすための加工技術に苦労した時代として記憶されている（戦後～1960年代）。

2期はタイヤ構造がバイアスタイヤからラジアルタイヤへ変更した時代であった。タイヤ構造が大変化を遂げると同時にそれに伴って製造設備も大きな変更をした。また補強材にスチールコードが登場するというタイヤ構造、製造設備とも大きな変化を遂げ、タイヤ性能も大きな飛躍を遂げた。

3期は従来の各要素技術群を統合化し、ラジアルタイヤの性能を向上させた時代である。

この3期は更に4つの時代（1期2期3期4期）に分けられる。

1期はラジアルタイヤの耐久性の完成の時代である。スチールコードとゴムの接着問題やゴムの疲労破壊によるセパレーションなどの耐久性の確保の時代であった。'70～80年

2期は耐久性の上に完備すべき性能としての運動性能の高い次元での確保である。この時期第二次石油ショックの影響があり、急速に燃費向上が求められるようになった。燃費性のよいタイヤは転がりやすいので止りにくいという安全性に問題があった。この背反事象の解消に世界が鎬を削った。80年代以降

3期は騒音、振動などの感覚、感性要素を付加させる時代であった。80年代後半以降

4期はタイヤ性能の成熟化の時代である。耐久性、運動性能にさらに騒音、振動などの感覚、感性要素も付加されて総合的完成度の高さが要求されるようになった。つまりすべての性能に対する要素技術の完備

が求められるようになり、そのための理論が発展した時代であった。

そのほかタイヤの一般性能にさらに性能付加したタイヤ（航空機用、建設車両用、二輪車用、スタッドレス用など）がある。これはタイヤ技術の付加性能への挑戦課題（耐熱性、氷上摩擦性など）としての役割を持っていた。

戦後の技術を見ると大きく言うと技術の進展が、材料（新原料ナイロン合成ゴム）、構造（ラジアル化）、材料（ラジアルの材料耐久性、SBRの多様性による転がり抵抗）、構造（感覚、感性、音、振動、乗り心地）と言う具合に交互に現れている。各時代ごとに最適手法を懸命に探して乗り越えていったという歴史が見てとれる。

これらの歴史を振り返ると大きなブレークスルー、たとえばバイアスタイヤからラジアルタイヤへの変更、合成ゴム、合成繊維やスチールコードなどの登場

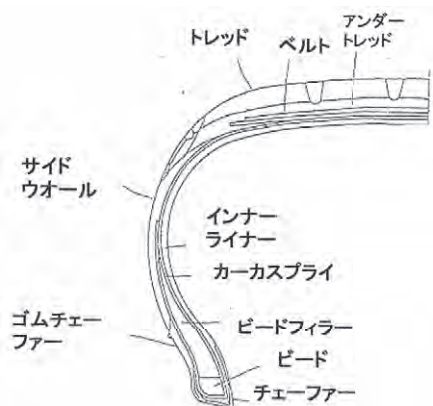


図 1.3 タイヤの構造（ラジアルタイヤ）（断面）



図 1.2 現在の各種タイヤ³⁾

「ゴム・エラストマーと未来の交通」

ゴム技術フォーラム編ゴムタイムス社 2010年3月 p69

タイヤサイズ呼称

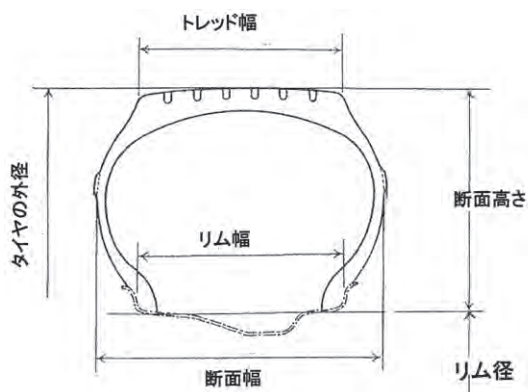
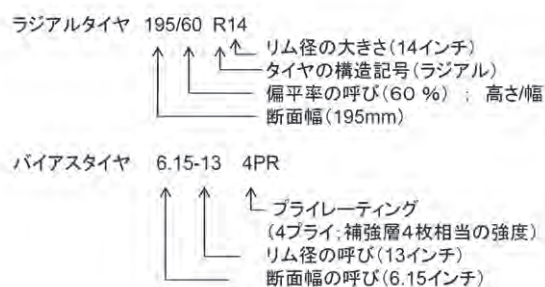


図 1.4 タイヤの寸法

偏平比 = 断面幅 / 断面高さ

などの画期的な技術に日本が主体的に寄与したことはあまりない。しかしその後のタイヤ産業における日本の存在感は揺るぎないものがあり、結局のところ、事業力+技術力(最適化力)の合計である産業力が大きかったと言える。それはものづくりを基盤とする技術力の存在感が大きかったと言えるのではないだろうか。またこれは日本のような技術優先(大発明はないが、最適化するためのものづくりに懸命になる)ということと会社(事業)を大事にするという合計力とも言えるのではないだろうか。

しかし今後の環境問題対策の深刻さは、更に大きな壁を突破すべきことを示している。単に最適化だけで済むというものではない。大きなブレークスルーを必要とする。

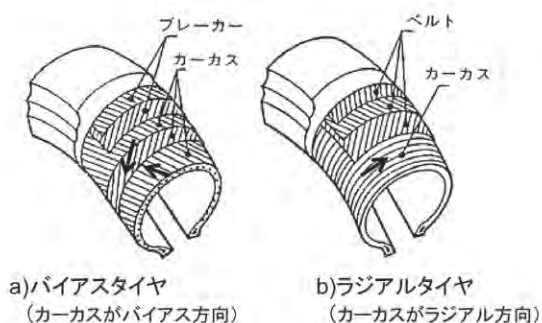


図1.5 タイヤ構造(バイアス・ラジアル)比較

執筆にあたって

1. タイヤの種類は多く、全てに渡って記述することはできなかった。レーシングタイヤ、農業用タイヤ、自転車タイヤなどについては触れていない。
2. 会社の呼称について
 本報告書作成にあたって各社の呼称については以下のようにした。記述の際内容によって当時の呼称を使ったほうが内容を伝えやすいときは当時の呼称を使った。

(呼称)：(以前の呼称、現在の正式名)

住友ゴム：ダンロップ(極東)株式会社、日本ダンロップ護謨株式会社、中央ゴム工業株式会社、住友ゴム工業株式会社

横浜ゴム：横浜護謨製造株式会社、横浜ゴム株式会社
 プリヂストン：ブリヂストンタイヤ株式会社、日本タイヤ株式会社、ブリヂストンタイヤ株式会社、株式会社ブリヂストン

東洋ゴム：東洋タイヤ工業株式会社 東洋ゴム化工株式会社、東洋ゴム工業株式会社
 (以上創業順)

3. 数字の取り扱い

各社の「社史」、「日本ゴム工業史」など本文が縦書きになっているものがあるが、それらの文章中の年号、月日などが漢数字(例：一九四五年八月一五日)で書かれている。本報告書では横書きで書いているので算用数字に直して表示した(上の例：1945年8月15日)。

引用文献)

- 1) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成4年6月 p34
 「自動車用タイヤの研究」横浜ゴム株式会社編 山海堂 平成7年4月15日 p7 など
- 2) 「ゴム工業における技術予測—自動車タイヤを中心に—」：ゴム技術フォーラム編集 (1990) 12月 p35～p43「今後のタイヤ技術予測」を参考に後半の時代区分を考えた。
- 3) 「ゴム・エラストマーと未来の交通」ゴム技術フォーラム編 ゴムタイムス社 2010年3月 p69

2 | タイヤの創生

2.1 車輪としての始まり

タイヤは、もともと車輪から始まっている。車輪の起源ははっきりしない。少なくとも4000年以上前のこととされている。車輪の使用は少なくとも滑り摩擦より、ころがり摩擦の方が摩擦は小さいということがわかっていたということを示している。

はじめは丸太を使うとか、それを輪切りにしていた(図2.1)。それが次第に板を何枚も合わせて円盤を作るようになり(図2.2)、さらにや(輻)のある車輪が考えられた(図2.3)。荷車は自動車が普及するまで交通機関の主役であり、その車輪は図2.3に示されるように桎や櫓などを使って車軸受、それを支えるスポーク(や; 輻)それを取りまく輪縁、たがをつくり、接地部分による損耗を防ぐために外周部にはめる鉄の環がまさにタイヤ(tire)と呼ばれるものである。



図2.1 初期の木製車輪¹⁾

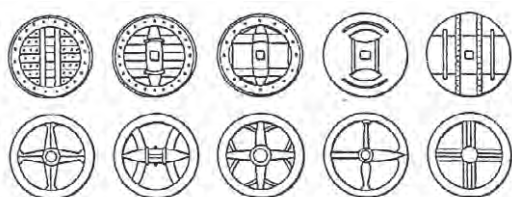


図2.2 改良された車輪のいろいろ¹⁾

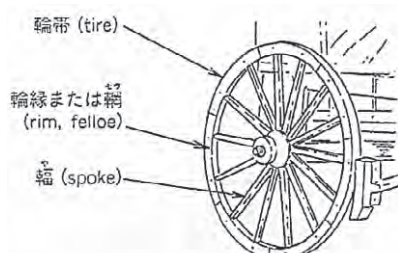


図2.3 馬車、荷車用車輪²⁾

鉄道車両の車輪にはレールに接する鋼輪の環が嵌められておりタイヤとよばれている(図2.4)。

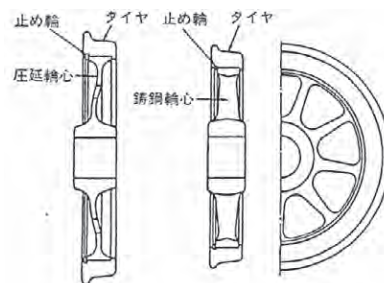


図2.4 鉄道車両用タイヤつき車輪¹⁾

全く別な時代、異なる国での車(平安時代の牛車)でも車輪が使われている。この時代でも木製であるから乗り心地は悪かったであろう(図2.5)³⁾。

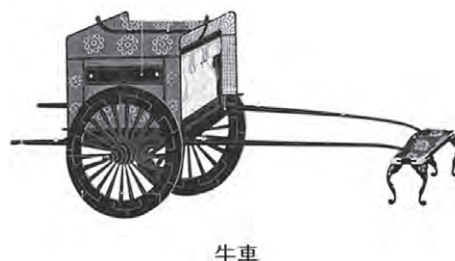


図2.5 平安時代の乗りもの(牛車)³⁾

2.1.1 タイヤのはじまり

以下主として「タイヤの話」を引用して話を進める¹⁾。鉄製や木製の車輪を持つ車を凹凸のある路面で引いて行くことは困難であった。そこで初期のタイヤはいろいろな発明家が、いかに快適に車両を走らせるかということに鑄を削った。このためにタイヤをもっと弾性に富んだものにしたいという試みがなされ、今でいうソリッドタイヤ(タイヤ全体がゴムから成る; 空気を入れないタイヤ)が1835年には発明されている(下図参照)。



図2.6 初期のソリッドタイヤのいろいろ¹⁾

はじめてのガソリンエンジンを装備した自動車は1886年、ドイツのダイムラーベンツにより造られ、1890年にはフランスでこの車の生産が始まった。この車にはゴムのソリッドタイヤが装着されたが、この後続の自動車メーカーはまだ鉄輪を使っており、1895年になって、はじめてこれらの車のための空気入りタイヤが開発された。

ベンツの最も初期のソリッドタイヤを使用した車（レプリカ）がトヨタ博物館に展示されている（図2.7参照）。

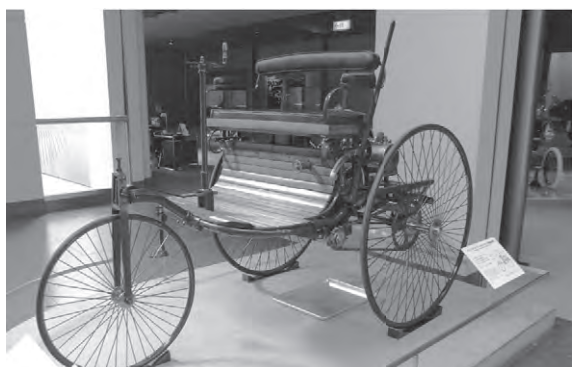


図2.7 ベンツ社製自動車 1886年製（レプリカ）
ソリッドタイヤ装着（トヨタ博物館所蔵）⁴⁾

2.2 タイヤの歴史

この時期、画期的なのは空気入りタイヤの発明である。R.W. トムソン（Thomson）の発明がはじめて空気入りタイヤの特許になったのは1845年のことである（図2.8参照）。

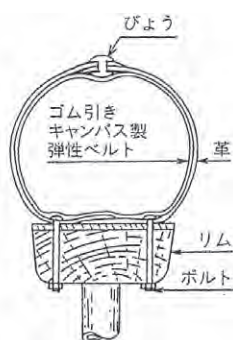


図2.8 トムソンの馬車用空気入りタイヤ
1845年特許（英）⁵⁾

これは英国特許⁵⁾として運搬用車輪の改良に関する特許を取得したものである。この発明の特徴は、車輪の周りに弾性体をつけ、走行抵抗や騒音を少なくし、乗り心地を改善し、蒸気車用に高速にも適した車輪を得ることであり、弾性体としてはゴム、ガタパーチャ（天然ゴムの一種）などの高分子物質による中空のベ

ルトを空気で膨らませて用いる。

この構成を見ると、空気入り、ゴム引きキャンバス製のベルトを使うということであり、はたらきを考えると、原理的にはいまのタイヤと同じである。いまから160年以上まえにこのような現在のタイヤと同じ考え方があったということは驚くべきことである。

このタイヤは馬車用に作られているがゴム引布を張り合わせてチューブに相当する袋を作り、その外側に皮革を鋳でつなぎあわせたものをかぶせ、木製のリムに鋳で固定する構造になっていた。

しかし、実際の車では効果があまり現れなかったもので、忘れられてしまった。実際にタイヤとなったのはダンロップの発明による。それはトムソンのタイヤから約40年後1888年、この着想がJ.B. ダンロップ（Dunlop）によってふたたび取り上げられ、再度特許となった。彼の特許は、まずインドゴムおよび布または他の適当な材料で中空のタイヤあるいはチューブを作り、これにある圧力の空気を充填し、適当な方法で車輪に装着するというものである。ダンロップのタイヤは図2.9に示すように直径40cmほどの厚い木の円盤の外側にゴムのチューブをはめ、その周りをゴム引きしたキャンバスでくるみ、端を円盤に釘で止めたもので、乗り心地がよくなるばかりでなく、これまでのゴムソリッドタイヤに比べて転がり抵抗が大幅に減り、楽に走れることがわかった⁹⁾。



図2.9 ダンロップタイヤの最初のタイヤ⁹⁾（模作）

この発明は『100 The first hundred years of Pneumatic tyres 1888-1988』⁶⁾によれば10歳になる息子のジョニーに「僕の三輪自転車をもっと楽に、もっと速く走れるようにして」と頼まれたJ.B. ダンロップは、実験を重ねた末に作ったという。

初めの実験で、三輪車から外したソリッドタイヤをころがしてみたが、これは途中で倒れてしまった。次に、J.B. ダンロップが作った空気入りタイヤをころがしてみたところ、同じ力でころがしたのに、庭を横切ってドアにぶつかってはね返ったという。この空気入りタイヤを着けた自転車に乗ったジョニーの評価は、

上々であった（図 2.10 参照）。



図 2.10 空気入りタイヤを装着した自転車を持つ
J.B. ダンロップ⁶⁾ 7) 息子のジョニー

2.2.1 空気入りタイヤの事業化

この頃、サイクリングはポピュラーなスポーツになっていた。サイクリングが普及し始めた中で登場した J.B. ダンロップの「空気入りタイヤ」は、その性能が画期的であったことから、スポーツを愛好する事業家、サイクリング誌の発行人、新聞ジャーナリスト、自転車販売業者などが J.B. ダンロップと一緒に、事業化することになった。1889 年 11 月、資本金 2 万 5,000 ポンドで、アイルランドのダブリンに「The Pneumatic Tyre and Booth's Cycle Agency, Ltd.」が設立され、J.B. ダンロップは、特許権を譲渡して役員の一になった。現在、この地には、「1889 年、世界初の空気入りタイヤ工場が、1888 年 12 月 7 日ジョン・ボイド・ダンロップに与えられた特許に基づいて、この地で生産した」と書き記されたブロンズの銘板がある¹⁰⁾。（図 2.11）

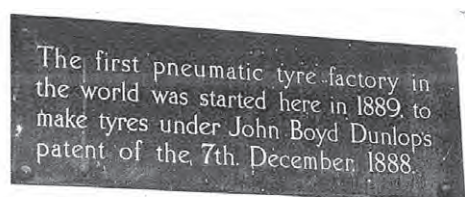
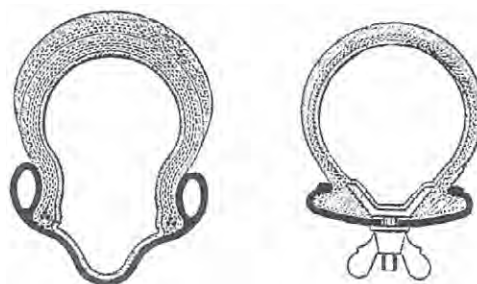


図 2.11 ブロンズ基盤¹⁰⁾

「空気入りタイヤ」が世に出ると、これをもっと使いやすくするために、いろいろな工夫が凝らされるようになった。その一つは、タイヤとリムの組み付け、取り外しを容易にすることで、これには二つの方法が考え出された。第 1 は、C.K. ウェルチの考案したワイヤードオン方式（針金式）、第 2 は、W.E. パートレットの考案したクリンチャー方式（引き掛け式 図 2.12）で、ともに 1890 年に特許が認められた。さらに空気を入れるだけでなく抜くこともできるバルブが発明され、これは C.H. ウッズが 1891 年に特許を取った。創業間もない「The Pneumatic Tyre and Booth's Cycle Agency, Ltd.」は、大金を払って、直ちにこの三つの特許を買い取ったが、これらの特許は、いずれも会社の発展に貢献することになった¹⁰⁾。これらはカーカスの基底、リム部にスチールワイヤーを用いたリングを使うワイヤードオン方式が用いられており（図 2.12）、現在の乗用車のタイヤとリムの組み合わせの原型である¹⁾。



ワイヤードオン式タイヤ クリンチャー式タイヤ

図 2.12 初期のタイヤの構造とリムへの取り付け方¹⁾

自動車に空気入りタイヤを初めて適用したのは、フランスのミシュラン兄弟である。1895 年、パリ～ボルドー往復 1,000km レースに出場したミシュラン兄弟が、次から次へとタイヤを取り替えながら、ともかくも走り抜いた話は有名である。以降、次第に空気入りタイヤが自動車の分野に進出していく。しかし、その頃の道は非常に滑りやすかったにもかかわらずタイヤにはトレッドパターンがなく、少しスピードを出すと真っすぐには車を止められなかった。また、タイヤは頻繁にパンクした¹⁰⁾。

英国ダンロップ社が初めてタイヤトレッドに簡単な横みぞのパターンをつけたのは、1905 年のことである。これは、未加硫トレッドの上の何箇所かに短い鉄棒を置いてからラッピングし、加硫の熱で刻印するという方法で作られた⁶⁾。図 2.13 に示した。



図 2.13 1905 年 ダンロップ社の
はじめての横溝パターンタイヤ⁶⁾

2.3 タイヤの必須物質としてのゴム

もしゴムがなければ現在の空気入りタイヤはなかった。ゴムはタイヤの必須物質であった。そのころのゴムと言えば天然ゴムであり、今から振り返れば天然ゴムの発見こそがその後のタイヤの歴史の第一歩といっている。

2.3.1 天然ゴムの歴史

天然ゴムは人類に長い貢献をしてきたが、いまだにゴムの中で最もすぐれた原料である。天然ゴムの歴史を次に示す。

1490 年代半ば、C. Columbus が西インドのイスパニオラ島（ハイチ）で、原住民がゴム球で遊んでいるのを見たのが初めてといわれている。新大陸発見後、天然ゴムの弾力性、防水性などの特性が認められ、その利用について研究されるようになった。しかし、1839 年、C. Goodyear が硫黄によるゴムの加硫を発見するまでは、ゴムは単なる珍重品で工業原料とはならなかった。加硫の発見によって、ゴム工業が発展するようになり、19 世紀から 20 世紀にかけての自動車の出現とあいまって、近代産業としての基盤が確立されていった。天然ゴムの研究は 19 世紀からなされ、1826 年、M. Faraday により天然ゴムが C_5H_8 の化学組成であることが確認された。また 1860 年、G. Williams はゴムを乾留し、イソプレンモノマーを単離している⁸⁾。

その後、自動車産業の発展に伴いゴムの消費量が激増したが、英国が栽培ゴムの 80% を独占していたため、各国は原料ゴムの確保に苦慮した。

その後世界大戦においては、ゴムは必須の軍事物資となった。合成ゴムが第一次大戦（1914 年）ごろ本格的に研究されだしたのは戦略物資として行われたのである。その後第二次大戦（1939～45 年）に起因した合成ゴムの量産が行われるまで、世界各国は英国の

独占を破ることはできなかった。

第一ならびに第二次世界大戦中、機動作戦用に膨大な軍需用ゴムを確保する必要からブタジエン系合成ゴムの工業化が加速され、更に戦後における SBR の品質改良とコストの引き下げ、石油化学工業の発展など、天然ゴムは合成ゴムの挑戦を受け 1963 年、ついに世界の合成ゴム消費量は天然ゴムのそれを上回るようになった。

このような情勢下、天然ゴムの改良がおこなわれていた。当時天然ゴムの最大生産国であったマレーシアを中心に、豊産樹種への計画的植え替えによる収穫量の増大、タッピング法（幹へ傷を入れてゴムラテックスをとる方法）の改良、ラテックス分泌促進剤の利用、未成熟期間の短縮、施肥、土壌管理、病害防止などへの努力、更に生ゴム生産工程の合理化や集中化による品質向上ならびにコスト切り下げなどによって、合成ゴムに対抗しつつあり、一部は、天然ゴムの化学変性や新しい形態の天然ゴム開発で、合成ゴムへの巻き返しが試みられるようになった⁸⁾。現在は新興国の旺盛な需要などもあって、天然ゴムは非常に高価格になっている。

工業的に利用されている天然ゴムの樹は、非ゴム質含有量が低く、ゴム炭化水素、すなわちシス-1,4-ポリイソプレンの収穫が高いヘベア・ブラジリエンス（*Hevea Brasiliensis*）である。ゴムの樹皮を切りつけて流出する乳液すなわちラテックスには約 30% のゴム分が含まれている。このゴム分は蛋白質の他少量の脂質、糖類、灰分を含む。ラテックスはゴムの樹の中では安定であるが、採取後は酵素の作用などによって自然凝固しやすいので、アンモニアのような保護剤を加えて凝固を防止する。ラテックスはヘベア樹内部の形成層付近に発達している乳管組織中の乳状液で、樹齢が 5～7 年以上になった樹皮に切りつけ（タッピング）を行うと流出する。このラテックスに酸を加えて凝固させる。これを乾燥させたものがいわゆる生ゴムである。

ヘベア種は 1,4 シス構造のポリイソプレンであり、高い引張強度を示す。伸張すると結晶化する。一般的に機械的強度、低発熱性、高耐摩耗性を持つ。このため高荷重タイヤにおいては、使用比率が高くなる。

人類が発見した天然ゴムは改良されて、高品質、高物性のゴムとして大きな産業分野を構成したのである。天然ゴムが持つ高強度、低発熱性などの特性はタイヤに用いるのに最適であり、今日のタイヤ工業の発展の基本要素であった。

2.4 ゴム物性の重要性

2.4.1 ゴムはなぜ伸びるか

ゴムのように弾性的で弾む、伸びる、戻るといった特殊な材料がなければタイヤはなかったと思われる。ゴムはどのような構造をもっているのかを考える。

ゴムは他の材料とまったく違い、引張れば伸び、離せば瞬時に戻る。しかも弾性的であって弾む。なぜゴムはこのような性質をもっているのか。多くの研究があったが現在は以下のように考えられている。

- 1) ゴム分子自身がばねのような形態をしており、引張るなどの変形をうけると、ばねが引張られるように形態が変化することによって応力を受ける(エントロピー弾性という)。分子に直接力がかからずに力を形態変化によって受ける。
- 2) このような振る舞いをすると言うことは、ゴム分子は気体のような性質を持っており、いわば気体分子がつながって高分子を構成しているような構造といえる。これらの挙動をモデル的に示したのが次の図 2.14 である。

2.4.2 加硫の発見

ゴムに弾性を持たせるには、単にゴム分子だけではできない。加硫が必要である。1939年にグッドイヤーによるゴムの歴史の中で最大の発見であった。加硫とは、ゴム分子同士を結合させることである(多くの場合硫黄による架橋)。この加硫反応によって隣合う分子同士を結合させてネットワークを構成して応力が全体に伝わるようになって全体がゴム弾性を示すいわゆるゴムになる。この現象を説明したのが次の図 2.15 である。この試験はゴム工業では一般的であるが、硫黄を加えた未加硫ゴムを温度をかけてねじり変形を加えて、応答する力(トルク)を測って時間とともに硬くなっていくことを測定する。それによってあるレベル(プラトー)に達したところで加硫が完了する。この加硫の速度を大幅に短縮したのは加硫促進剤である。加硫短縮はタイヤを中心とするゴム工業の最大テーマであった。とくに天然ゴムは熱に曝されると劣化が大きいために短時間で加硫を終了するかが重要であった。

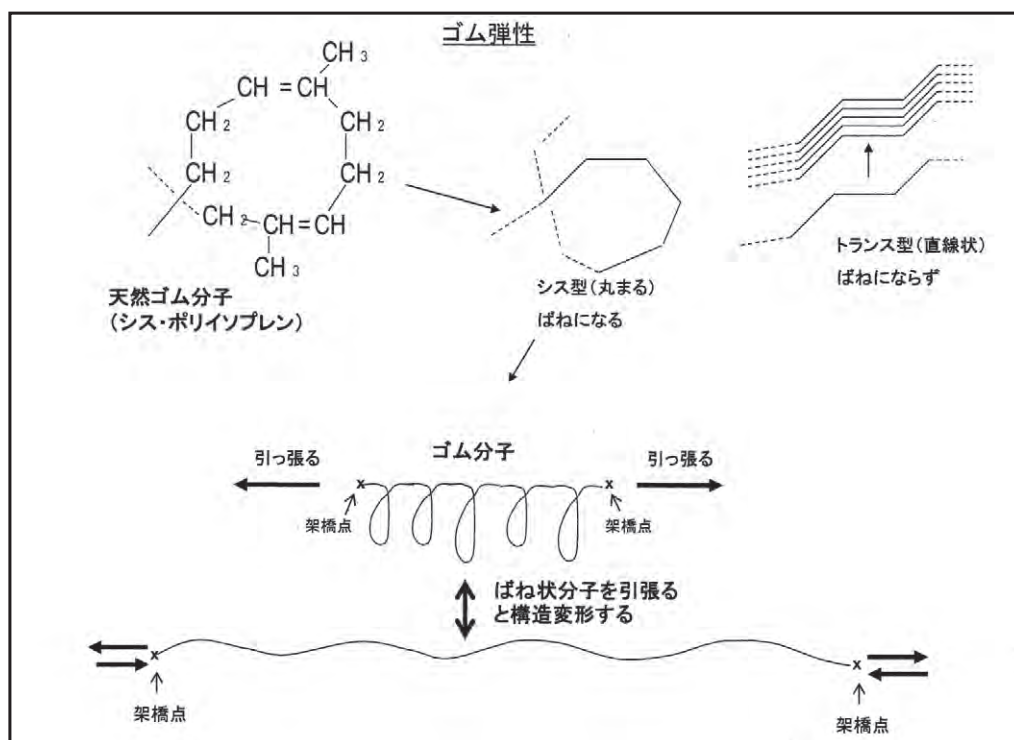


図 2.14 天然ゴム構造モデル

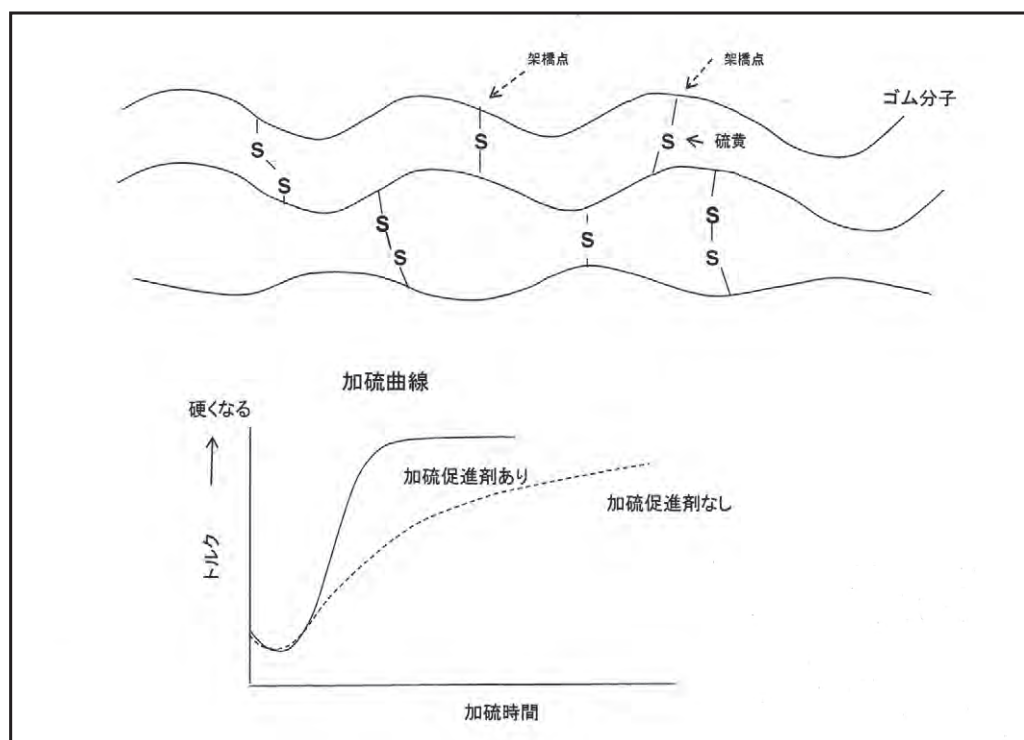


図 2.15 加硫と加硫曲線

2.5 天然ゴムと環境問題

21 世紀にはいって、環境問題が深刻になるにいたって、天然ゴムはカーボンニュートラルとして見直されるようになり、使用量も増えてきている。

2010 年代に入った現在、中国やインドなどの新興国による天然ゴムに対する旺盛な需要は当分続くと思われる、その他の新興国まで考慮すると高値に推移するこの流れは当分続くと考えられるべきであろう。むしろ原料としての天然ゴムの不足を来すのではないかと考えられる。

また天然ゴムをエポキシ化変性すると大きく物性を変えることができるので、使用範囲を拡大するという研究も最近行われており使用拡大はさらに進んでいる¹⁰⁾¹¹⁾。

引用文献)

- 1) 服部六郎：「タイヤの話」(大成社 平成 4 年 6 月 25 日) p2～3
- 2) 渡邊徹郎：「タイヤのおはなし」2002 年 10 月 日本規格協会 p13、市村芳雄：自動車高額全書(1980) 10 巻 3 章 山海堂 P170 より引用
- 3) 「新総合図説国語」東京書籍 2004 年 p21

- 4) 「トヨタ博物館」所蔵 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41 番 100 号
現車はオリジナルではなくベンツが公式に製造して販売したレプリカ
- 5) 英国特許 No 10990
- 6) 「100 The first hundred years of Pneumatic tyres 1888-1988」住友ゴム工業株式会社 p7
- 7) ベストカー編「タイヤのすべてがわかる本」三推社、講談社 平成 20 年 p95
- 8) 「ゴム工業便覧」< 第四版 > 日本ゴム協会平成 6 年 1 月 20 日) p179～182
- 9) 渡邊徹郎：「タイヤのおはなし」2002 年 日本規格協会 p17、株式会社ブリヂストン広報室 (1987)：タイヤ百科、p15 東洋経済新報より引用
- 10) 「住友ゴム百年史」住友ゴム工業株式会社 2009 年 12 月 p33～35
- 11) 「特殊エラストマーの未来展開をさぐる Part I」：ゴム技術フォーラム編 ゴムタイムス社 p21～22 (1992) および特開 2000-169504：住友ゴム工業(株)、花王(株)不二ラテックス(株)、(株)ヒガシ化学

3 | 日本ゴム工業の黎明期（初期の配合技術の時代）

3.1 明治～大正初期

前々章で述べたように明治の末に日本のタイヤの生産が始まっているが（最初は自転車や人力車用、自動車用の最初は大正2年；1913年）その頃の技術の中心はゴムの配合と加硫であった。そこで次に当時のゴム技術について述べる。

この時代はゴム工業の黎明期であって、試行錯誤しながらゴム、加硫を独学的に開発していった。

3.1.1 明治前半のゴム技術

明治18年（1885年）には、神戸に日本護謨球製造所（日本護謨製造所が正しい；「兵庫ゴム工業史」による；著者注）なるものが設立されて、球、枕を製造していたということである。（明治31年（1898年）刊「神戸開港三十年史」坤）³⁾。

しかし一般にはわが国のゴム工業が開始された年は、普通明治19年（1886年）といわれている。すなわち同年末に、土谷護謨製造所（後の三田土護謨製造合名会社）が創立され、自家用潜水衣の修理から進んで、ゴムの加硫に成功したのである。これをもって少なくとも技術的には、日本における近代的ゴム工業の基礎がつくりあげられたとしている。グッドイヤーの加硫法発見の年に遅れること約50年であった³⁾²⁾。

この配合中心の技術開発時代には経験的に配合を検討していったが、その経験則を習得した配合師なるものが現れた。配合を秘密にし、技術的知見を独占して、工場長以上の高給を得ていたという。それは大正末のころまで続いていた。その技術は有機加硫促進剤の発明以前か以後かによって大きくかわった。有機加硫促進剤がない時代は無機加硫剤、無機加硫促進剤の組み合わせの如何が最重要課題であったためであろう。

では明治期の配合技術について振り返ってみる。ここでは山田均著の「配合師」（配合の立て方 日本ゴム協会配合技術研究分科会編）を中心に引用して話を進める¹⁾。（山田均氏は、日本ゴム協会 配合技術研究分科会主査であるが、配合師について詳細に調査し、まとめたものである。著者も同分科会に所属している。）

前述のように日本ゴム工業の始まりは、土谷護謨製造所が創設された1886年（明治19年）とするのが一般的である。土谷護謨製造所は1892年に三田土護謨

製造合名会社と名称変更している。なお「三田土」は1945年に昭和護謨に合併されている。

（1）初期の技術（三田土の技術）

三田土では、当初は原書を読んでも具体的な加硫法がわからず失敗の連続だった。¹⁵⁾

試行錯誤の上、石焼芋方式を採用ことにした。結果的に採用したのが容器に小石や砂を入れてその中に未加硫ゴスを埋め、徐々に温度を上げて均一に加硫する独特の熱加硫方式⁴⁾⁵⁾⁹⁾¹⁵⁾で、1904～1905年頃まで他社でも採用されていた⁴⁾¹¹⁾¹⁶⁾。配合面では石灰やリサージ酸化鉛（PbO）を加えるなどの工夫をしていた¹⁵⁾。練り際には天然ゴスを一旦鋏で切り、揮発油に浸漬して膨潤させた後、すり鉢やロールに移した⁴⁾⁵⁾¹⁷⁾。すりこぎ棒で何時間も練り続けたために作業者が揮発油に酔ったそうである¹⁵⁾。

3.1.2 19世紀末～20世紀初頭のゴム工場

三田土の設立から数年たつと（1888年以降）護謨印店が幾つか開業し始めた⁴⁾¹¹⁾。1890年代に入ると日本の産業も発達し始め、1894年冷加硫技術を有する吉田兄弟が神戸にラバー商會を設立した⁴⁾⁷⁾¹¹⁾¹²⁾。1896年には東京護謨製造所と三田土OBによる吉田護謨製造の2社が生まれた⁴⁾⁹⁾。同じ頃、平野製造所¹⁸⁾と藤倉護謨¹⁹⁾も製造を開始した。

ゴム工場の設立が全国で相次いだとは言え、それらは家内工業的なものであった⁸⁾⁹⁾。1900年の時点で常時10人以上を使用する護謨工場は全国で2社であった。1909年頃になっても、5名以上の職工をもつのは19工場に止まっていた⁴⁾⁵⁾⁸⁾¹³⁾。1907年末における東京府下三大会社の数は三田土が229人、明治護謨が140人、日本護謨が100人であった⁴⁾¹²⁾。このように明治護謨が設立されるまでの十年間日本の護謨工業は三田土の独占状態に近かった⁴⁾⁹⁾¹⁰⁾¹⁴⁾。ゴム屋は各社とも三田土の配合を探った¹⁴⁾。配合師の誕生と三田土との関係が示唆される。

3.2 明治後期のゴム工業（タイヤ工業の始まり；著者注）

1908年には、イギリス資本の日本イングラム護謨株式会社（以降、イングラムと略記）が、1909年にはダンロップ護謨（極東）株式会社（現住友ゴム工業；本章ではダンロップと略す）がそれぞれ設立された⁴⁾⁷⁾⁹⁾¹¹⁾¹³⁾。両

者は資本系統が同一であり、イングラムは1911年、ダンロップに吸収合併された⁴⁾⁷⁾⁹⁾¹¹⁾¹²⁾。

明治40年頃からは自転車が流行し、タイヤ需要が急増した⁴⁾⁵⁾⁹⁾¹²⁾。人力車タイヤの需要増も加わって、各社が生産に乗り出した。三田土、明治護謨共、1900年代初めから試作を実施し、1908年（明治41年）前後から本格生産を開始した⁴⁾⁵⁾⁹⁾。

日本のゴム工業はこうした時流に乗り、また、ダンロップやイングラムの技術を模倣して、少しずつ力をつけて行った。

3.2.1 ダンロップ

ダンロップは英国ダンロップの大資本を背景に、最高の技術・設備を有していた。『日本ゴム工業史』によると、「ダンロップ工場は、別名ラバー・スクールとも呼ばれていた」状況で、ダンロップの門を潜った技師が各地のゴム会社で活躍していた⁴⁾⁵⁾⁷⁾¹²⁾。神戸に多数のゴム工場が設立されたのも、一つにはダンロップゴムの「配合」技術などがいち早く普及したためとされている⁴⁾⁵⁾⁹⁾。

3.2.2 タイヤの配合変遷

ダンロップ・三田土の配合

明治後期のものかは不明だが、昭和15年刊行の「ゴム配合古今集」¹⁴⁾を基に、ダンロップ流の配合の例を表3.1に示す。原料ゴム分を不動とするのがダンロップ流とのことである²⁾。

ダンロップの配合には相当量の三田土流が加味されており、英国流のゴム配合を東洋化した按配になっている。三田土はいつしか配合技術を蓄積していた様子で、ダンロップ流と共に日本のゴム配合界に君臨した。両者は明治30年～大正初めに重用され、昭和初期になっても奉じるものが少なくない状況であった¹⁴⁾。

3.3 明治後期～大正初期のゴム工業

明治後期、日本のゴム工業は、多少の技術を身に付けたものの、未だ幼稚な段階だった。およそ学問的でなく、「薬品の使用なども、硫黄一点張りで、その混ぜ方は各工場の秘中の秘となっていた」（バンドー化学・雀部昌之助談）。試験研究設備もなく、配合は経験と勘に頼っていた。しかし各社共配合を秘密にし、互いに他社の配合を探りあっていた⁴⁾。

3.3.1 配合師の活躍

大正後期のゴム工業

当時は明治以来の秘密配合主義が抜けておらず²⁰⁾、ゴム製品メーカーも配合帳を宝物のように金庫に隠していた。新規原材料の普及も容易でなかった。

大正初期には、田中宗一郎（訳）「工業護謨化学」が刊行された。製法が詳細に記されており加硫理論や試験法、分析法に関する記載も詳細²¹⁾で、新進の技術者に大いに活用されたとのことである⁴⁾。しかしこのように学問的な検討も一部でなされ始めたものの、配合師の秘密知識に頼る工場が多かった。

3.3.2 配合師達の世界

配合師の世界も徒弟制度だった。5年ほど只同然で配合師を手伝い、配合を覚えたとの例が紹介されている⁵⁾。とは言え勉強家の配合師も多かった。もちろん配合処方配合師の秘密で、その工場の職工に、指示したり、教えたりすることは絶対になかった⁵⁾。

隆盛を誇った配合師も、後に消滅することになるのであるが、その主要因として加硫促進剤の導入が挙げられている。明治以降の配合の変遷について眺めてみたい。

表 3.1 ダンロップ流自動車タイヤ配合

リップスモーク(天然ゴム)	72	リップスモーク(天然ゴム)	79
リクレーン(再生ゴム)	56	リクレーン(再生ゴム)	42
亜鉛華(ZnO)	26	炭酸石灰(重質炭酸カルシウム)	47
炭酸石灰(重質炭酸カルシウム)	26	カーボンブラック	5
硫黄華	21	脱酸硫黄	11
ゴム粉	15	リサージ(PbO)	11
リサージ (PbO)	5	ミネラルラバー(ピッチ、アスファルト)	8
ミネラルラバー(ピッチ、アスファルト)	8	苛性マグネシヤ	3
ペールマシン油	15	ペールマシン油	16
生石灰	5	加硫時間	60分
松脂	5		
加硫時間	40分		

(大正期と推定、ダンロップの流れをくむ配合師達の配合。ダンロップと同一か否かは不明；山田氏コメント。

複数の無機加硫促進剤の配合が特徴；著者注)

3.4 明治末から大正期の配合剤

花木松太郎は以下のように語っている⁹⁾²³⁾。

「当時ゴムの配合剤としては明治護謨も東洋護謨も殆ど同じで一番必要なものは硫黄、消石灰、これは一つの促進剤です。それに亜鉛華（ZnO）、沈降性炭酸カルシウム、炭酸マグネシウム、それから色着けのものとしては黒いものには松煙とか油煙、赤いものには弁柄、ゴールデン・アンチモンというようなものを使っていたのです」

以下いくつかの配合剤について記す。

①亜鉛華（ZnO）

明治期に最も多用された補強剤は亜鉛華であった。大正末～昭和初期には炭酸カルシウムやカーボンに置き換えられた。有機促進剤が大正末期から普及すると、現在のような促進剤としての使用が一般的となっていた⁴⁾。

②塩基性炭酸マグネシウム

$3\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 、 $4\text{MgCO}_3 \cdot \text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 、 $5\text{MgCO}_3 \cdot 2\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ 等の化学式で表せる配合剤で、軽質／炭酸マグネシウム、炭酸マグネシウムなどと呼ばれた¹⁾⁴⁾⁸⁾²⁴⁾。ゴム用は1918年（大正7年）に出され、大正末～昭和初期、ほとんどのゴム製品に使用されていた⁴⁾。

③炭酸カルシウム

当初は重質炭酸カルシウムが、ホワイティング、炭酸石灰、炭石等と呼ばれて多用された⁴⁾。軽質炭酸カルシウムは1919年に白石工業が量産を開始したが、その価値はしばらく理解されなかった。しかし国立大阪試験所などが研究したことで次第に認められるようになり、昭和初期には亜鉛華や炭酸マグネシウムと共にゴム薬品の花形となっていた⁴⁾²⁰⁾。

昭和初期にはまた、表面を脂肪酸石鹼処理した炭酸カルシウムが開発された。こちらも当初は評価されなかったが、アクロン大学でゴム用補強充填剤としての優秀さが立証されてからは、ゴム配合分野に大いに貢献した²⁰⁾。

④カーボンブラック

1901年（明治34年）から輸入され、当初は着色目的で使用されていた。大正末期からはタイヤ類の補強剤として広まり、1931年に国産化された⁴⁾。

⑤促進剤

当時は「配合でもっとも大切な促進剤は消石灰、リサージ、マグネシアの三つで、これらの使い分けにはなかなか経験を要した」（元角一護謨・森鉄之助談）⁴⁾。

ゴムの配合が困難なものとされ、秘密にされるようになったのも、そのためだった²⁵⁾。「明治護謨にイギリス人の技師が来てから向こうの配合が判ったが、やはり石灰を使っておりました。」（花木談）²³⁾それらの他、ケイ酸ソーダ等の無機薬品を、一種の促進剤として使用しており、「促進剤」という名称はなかったとのことである⁴⁾²³⁾。

有機促進剤の日本での普及はこのころから一部工場で行われていたと言われている。

3.5 大正後期のゴム工業

炭酸マグネシウムを用いると透明なゴムができ、物理的性質も向上した。大正後期にはこうした配合のゴム靴の製造が著しく発展し、海外にも輸出されるようになっていた⁴⁾⁵⁾。

製造面についてみると賃練工場で配合及び簡単な成形加工を行い、賃蒸し工場で加工するという、混合と加硫の分業も行われていた⁴⁾⁵⁾。

1922年（大正11年）刊行「ゴム配合法」の序文から、当時のゴム工業の様子をうかがい知ることができる。「製造法殊に配合法は絶対に伏せられ、数年間生産に従事しながら製品の構成要素すら知らざる者少なからず」とあり、配合師の存在が示唆される。

参考のため、当時の配合例を大正11年（1922年）刊行「ゴム配合法」²⁶⁾の文献の記載例（ゴム配合法福岡春太郎（1922）と「三田土流」配合を表3.2、表3.3に併記する。

表 3.2 自転車タイヤの配合例²⁶⁾¹⁴⁾

	福岡	三田土流
リップスモーク(天然ゴム)	100	100
炭酸マグネシウム	21	23
黒サブ(軟化剤、加工助剤)	9	9
カーボンブラック	4	5
脱酸硫黄	4	4
パラフィン	3	3
苛性マグネシウム	4	3
加硫時間	50分	50分

表 3.3 自動車タイヤの配合例²⁶⁾¹⁴⁾

	福岡	三田土流
リップスモーク(天然ゴム)	100	100
亜鉛華(ZnO)	29	29
炭酸マグネシウム	18	18
脱酸硫黄	5	5
リサージ(PbO)	7	7
カーボンブラック	4	4
ミネラルラバー	5	5
加硫時間	60分	120分

福岡：「ゴム配合法」²⁶⁾、福岡春太郎（1922）

三田土流：「ゴム配合古今集」¹⁴⁾ 森山藤吉郎 東栄社（1940）
（大正初期～中期の配合と推定される；山田氏コメント）

二つの表共、大正11年刊「ゴム配合法」記載の配合は、文献¹⁴⁾で「三田土流」として紹介されているものとほぼ同じである（いずれの文献も配合量を使用重量で表記しており、表はphrで表記している）。なおこれら配合例については、昔のゴム配合はもっと複雑だったので、公開学習用に簡略化された可能性がある。1943刊行の文献にも「複雑な処方は、配合の秘密を守るために多少の効果があるがそれ以外には何物もない」と記されており、配合師たちは配合を憶えられぬよう、不要な原材料を入れて無理やり複雑にしたのではとの推測²⁷⁾もある。なおphrは天然ゴムのような原料ゴムを100（重量）として他の配合剤の重量を示したものである。

大正後期には研究・教育面での進展もあったようで、1924年には「ゴム製造化学」²⁸⁾が1926年になると「護謨の研究」²⁹⁾が刊行されている。「ゴム製造化学」は早稲田大学の出版、「護謨の研究」は東北帝大での講義を基にした書である。「ゴム製造化学」の配合例を表3.4に示す。

表 3.4 自動車タイヤの配合例²⁸⁾

パラ(野生ゴム)	40
カウチヨ(野生ゴム)	27
Upper Congo	27
リクレーム	13
亜鉛華(ZnO)	17
ライム	1
硫黄	9

(明治末～大正初期の配合と推定；山田氏コメント)
Upper Congo；不明おそらく野生ゴム⁸⁾

「ゴム製造化学」では加硫促進剤が詳しく記されているが、配合例は表3.5に変遷を示している²⁸⁾。

表 3.5 タイヤトレッド配合の変遷¹⁾⁴⁾⁸⁾

1912年 (明治～大正)	補強剤：亜鉛華 着色剤：ランプブラック 促進剤：消石灰、マグネシア、アニリン
1918年(大正7年)	カーボンブラックと促進剤が登場
1933年(昭和8年)	カーボンブラックと促進剤が主役に 促進剤併用により、加硫時間半減 老化防止剤の有効性が明確になった。

全般に、ゴム量が増加し、硫黄量が減少して来た。

自動車タイヤの配合は、その時代の技術の最高レベルを示すものと言える。

3.5.1 加硫促進剤の普及

(1) 無機促進剤

加硫促進剤として、明治期には消石灰やマグネシア等の金属酸化物が用いられていたが、大正初期に花木松太郎が新規無機促進剤を開発、これは塩基性炭酸鉛を焼成したもので、1918年から19年に拡販された。米国から輸入したコンパウンドを分析し、研究を重ねて開発したとのことである。グッドイヤーが塩基性炭酸鉛を促進剤としていたので、これにつながる技術と言える³⁰⁾。

それ以前は1～3時間かかっていた加硫時間を15分程度に短縮する効果があった。

(2) 有機促進剤

配合を中心としたゴム技術は進歩したが、その中心は配合師であった。

その中心的技術は加硫速度であり、この時代の加硫促進剤は無機加硫促進剤であった。それは無機促進剤を巧みに組み合わせで加硫時間を調節するもので、配合師の最も重要な技術であった。ところが有機加硫促進剤の発見で加硫時間が格段に速くなり、しかも加硫現象が有機反応として理論化されていった。これによって配合師による、複合的無機加硫促進剤を用いた組み合わせによるカンとさじ加減による秘伝技術から、理論的技術になったので、ゴム配合の世界が次第に配合師の世界から有機化学の世界になって行き、配合師はすたれていった。

この時期以降の配合は基本的に配合が簡素化し、現代の配合に近づいていった。

3.5.2 有機促進剤の普及

有機促進剤の日本での普及時期については、各工場でまちまちしく確言できないが、概ね1920年過ぎ、大正末～昭和の初めである¹⁾⁴⁾¹⁴⁾²³⁾³¹⁾。1919年横浜護謨にオーエンスレーガー（有機促進剤の発明者）が来訪し、当時最先端の配合技術を伝えたそうである⁴⁾²³⁾から、1920年頃から普及し始めた可能性が高いと思われる。

有機促進剤に基づく新配合は「学理を応用して行う配合」で、主に工業試験所員や研究部に採用されていたが、実際にはあまり用いられなかった¹⁴⁾。当時の日本ゴム工業界では、三田土派・ダンロップ派が大半を占めており、その影響で研究部員らは十分な活動ができなかったとのことである。大正末期の三田土派・ダンロップ派の技師には、配合の変化を知らぬものも多く、促進剤を用いるとゴムが脆くなるとの説を信じていた⁴⁾¹⁴⁾。

有機促進剤のような高いものを使わずとも、石灰でたくさんだというものも多かった²³⁾。当時のゴム会社は多くが試験設備を持っておらず、新しい配合剤の使用に自信が持てなかった。そんな中よい試験設備を所有していた日本ゴムが多量に発注しそれから一斉に使用され始めた⁴⁾。

一方、配合師の母体ともいえる三田土を始め、明治護謄、古河、藤倉等は、大正末期から促進剤を輸入あるいは自製していた¹⁴⁾。明治末～大正初期から一部で用いられていたとの話もあり、他にも数社が有機促進剤を秘密裏に使用していた⁴⁾⁸⁾¹⁴⁾²³⁾。

関東大震災(1923年大正12年)の影響も大であった。汎用無機促進剤配合は加硫時間が長いため、量産用に多数の金型が用意されていた。有機促進剤によって加硫時間が短くなっても、せっかく投資した金型が無駄になってしまう。促進効果があまりに大きいことへの疑心と相まって、導入をためらう工場も多かった。しかし、震災によって金型も作り直す必要が生じ、有機促進剤使用の気運も高まったとのことである²²⁾³²⁾。

紆余曲折はあったが、有機促進剤が普及し、加硫時間が急激に短縮されるとともに製品の質も向上した⁴⁾。

3.5.3 配合の公開

昭和初期には配合についての知見も公開され始めた。平泉洋行は1928年にゴム研究所を付設すると、業界に開放した⁴⁾²²⁾²³⁾³²⁾。1933年からは月刊誌「ゴム」を創刊し、薬品の使用法を解説し、促進剤のデータも作成し、工場に配布もした⁴⁾⁵⁾³²⁾。また、ダンロップが昭和初期に英国技師を招聘してからは、基礎配合が公開されるようになった⁴⁾。それに先立つ1924年には逓信省が促進剤についての試験結果を公表している⁴⁾。

3.5.4 配合師の命運

このようにして有機促進剤が普及すると、配合師のカンで秘密裏に混合していた錬金術的段階から、科学技術に立脚した近代工業へと、ゴム工業は画期的に進歩した。

いわゆる学校出の技術者も増した。

それにしたがって有機促進剤による配合革命と学校出の正統派技術者の登場により配合師は失職していった。

3.5.5 無機加硫促進剤と有機加硫促進剤との機構の比較

(1) 無機加硫促進剤

前述のように無機加硫促進剤時代はリサージ（一酸

化鉛；PbO）や亜鉛華（ZnO）のような金属酸化物を用いていたが、それ以外にも種々の配合剤を用いていた。金属酸化物を用いる場合もオレイン酸やステアリン酸のような有機酸が必要であった。下の反応式（図3.1）は有機酸とPbOによる架橋反応機構である。Pbを介した金属石鹸になり、これが多硫化物をつくり、活性硫黄を放出し加硫を促進する³⁴⁾。

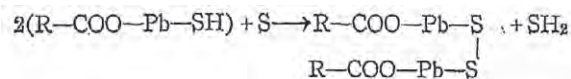


図 3.1 無機加硫剤による加硫機構

(2) 有機加硫促進剤

ここでは現在でも使用されている有機加硫促進剤MBT（2-メルカプトベンゾチアゾール）の作用機構を説明する。加硫促進剤は硫黄架橋反応の触媒として作用する。このとき加硫促進剤と酸化亜鉛の反応が重要である。この両者が必要でどちらか一方がないと加硫は進行しない。反応式は図3.2のようである。

MBT 間に硫黄鎖がトラップされる（1～2の反応）。硫黄は硫黄鎖中で壊裂してゴム分子と反応する（3～4の反応）。さらに硫黄と分子間で反応が進んで架橋が成立する（5の反応）²⁷⁾。

3.6 昭和前半のゴム工業

ここで昭和初め頃のゴム工業の状況を概観してみたい。

3.6.1 昭和初期のゴム工業

(1) 有機促進剤の利用

大正末～昭和初期にかなり普及した有機促進剤であるが、使いこなせているとは言い難かったようである。1940年刊行の文献¹⁴⁾にも、促進剤を気休め程度に少量配合し、有効に利用できていない旨が記されている。しかも促進剤少量使用は、スコーチ（焼け；前加硫）しがたいので押し出しに都合よく、それなりに研究された配合もあった¹⁴⁾。

学術的に配合を習得するのは、大工場の研究部での話である。小工場の90%は、ゴム工場で密に配合を盗む・見覚える・教わるといった昔ながらのやりかたで習得していた³³⁾。

(2) 「学術的」な動き

しかし、学術的な取り組みは確実にあったようで、1928年には日本ゴム協会が設立されている。「ゴム製

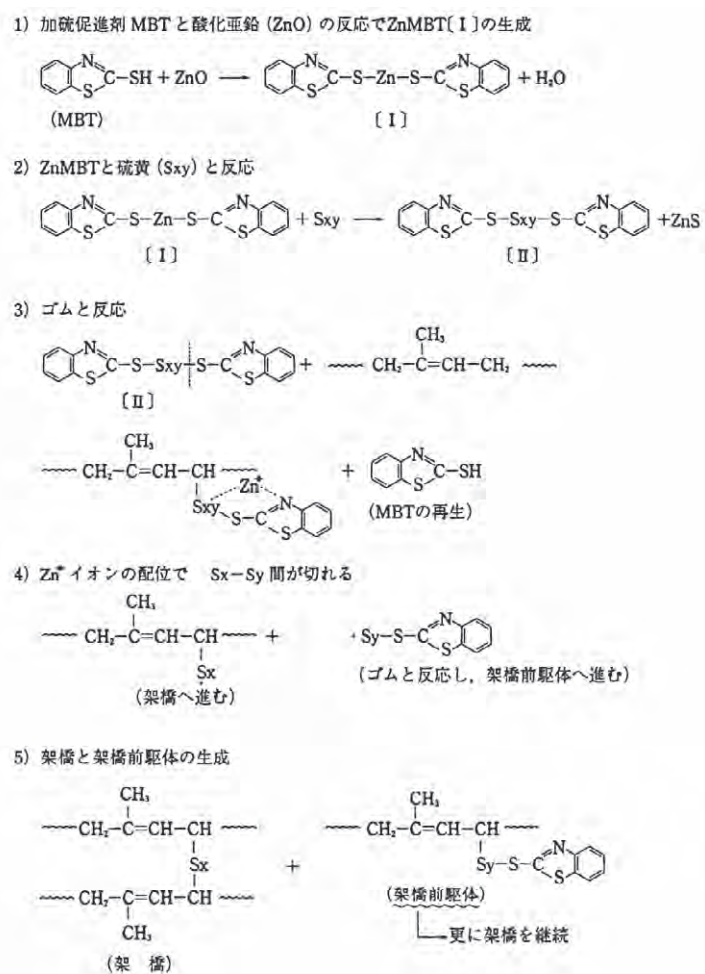


図 3.2 加硫促進剤 MBT の作用機構²⁷⁾

造法」には表 3.6 のような現在でも通じる基礎配合例が記されている。

配合面の研究も進んだようだが、前掲の「ゴム製造法」²⁵⁾には表 3.7 のような現在にも通じる自動車タイヤ配合例が記されている。

表 3.6 「ゴム製造法」の基礎配合

原料ゴム	100
硫黄	0.5~3.5
促進剤	0.5~1.5
亜鉛華 (ZnO)	1.0~10
ステアリン酸	0.5~2
老化防止剤	0.25~1.5
他、補強剤(カーボンブラック、炭酸マグネシウム、クレー)	
充填剤、軟化剤、着色剤	

表 3.7 自動車タイヤ配合

スモークシート(天然ゴム)	100
ミネラルラバー	5
カーボンブラック	40
亜鉛華 (ZnO)	5
ステアリン酸	1
バインダー	1
老化防止剤	1
DM (有機加硫促進剤)	0.8
硫黄	3

(昭和初期の配合であろう；山田氏コメント)

ここでは自動車タイヤ用の実用配合例でも促進剤が用いられている。表の配合は 1958 年刊の「ゴム配合法」²⁴⁾の配合とほぼ同じであり、戦時中の配合技術はそれなりのレベルであったと推定される。DM (Benzothiazile disulfide) とは前にも述べた MBT と同じチアゾール系の有機加硫促進剤である。

(参考) 現代の配合例 (タイヤの天然ゴム系)

天然ゴム 100、亜鉛華 (ZnO) 5、ステアリン酸 1~2、カーボンブラック 50~60、老化防止剤 1、オイル 1~5、硫黄 1~2、加硫促進剤 (NS もしくは CZ) 1~2
 NS : N-Oxydiethylene-2-benzothiazole sulfenamide
 CZ : N-cyclohexyle-2-benzothiazole sulfenamide

3.7 まとめ

これらの経緯をみるとゴム工業の発達にとって加硫を制御できるようになった有機加硫促進剤の発明は大きな進歩と変革をもたらしたと言える。主な内容は次のとおりである。

1 加硫時間の短縮による生産性の向上

2 加硫時に曝される時間が短くなりゴムの劣化が軽減
3 経験の技術であったゴムが化学的理論に基づく技術
になった

4 理論的になったためにそれまで秘伝の配合で生きて
きた配合師が淘汰されていった

上の配合が昭和初期と考えられることから配合師
が大正までで消滅していったことが現れている。

しかしながら有機加硫促進剤そのものはアメリカの
発明であり、その技術を導入してゴム技術の大きな変
化をもたらしたという環境変化は日本人の技術導入と
それを学んで自分のものにして改良して行くという一
つの型を示しているとも言える。

引用文献)

- 1) 山田 均：「配合師」ゴム配合の立て方第11集 日本ゴム協会 配合技術研究分科会 2009年3月 p80
- 2) 金子秀雄：「応用ゴム加工技術12講」大成社 (1988)
- 3) 「日本ゴム工業史 第一巻」日本ゴム工業会編 (昭和44年11月1日) p42～45
- 4) 「日本ゴム工業史1～3」日本ゴム工業会編 東洋経済新報社 (1969～1971)
- 5) 「兵庫ゴム工業史」寺西雄三・兵庫県ゴム協同組合 (1978)
- 6) 「ゴム工業の発展」池尾勝己 商工協会 (1948)
- 7) ダンロップ水枕70年の歩み 住友ゴム工業 (1995)
- 8) 青江一郎：日本ゴム協会誌 41 p47、620 (1948)；42、p1044 (1969) —ゴム薬品の変遷について
- 9) 「明治ゴム八十年史」明治ゴム化成社史編纂室 (1980)
- 10) 「日本合成ゴム株式会社十年史」日本合成ゴム (1968)
- 11) 20世紀を拓いたゴム材料—発展の100年— 浅井治海 フロンティア出版 (2004)
- 12) 「住友ゴム八十年史」住友ゴム工業 (1989)
- 13) 日本ゴム協会編集部：日本ゴム協会誌 69 p45 (1996) —住友ゴム工業を訪ねて
- 14) 「ゴム配合古今集」：森山藤吉郎 (真柴哲夫、金子秀雄、加藤義之、草刈敏鎌) 東栄社 (1940)
- 15) 西岡正光：日本ゴム協会誌 69 p34 (1996) —三田土護謨製造株式会社の話
- 16) 右川慶治：日本ゴム協会誌 8 p269 (1935) —其の頃のゴム工業
- 17) 岡崎留太：「護謨」1 p78 (1929) —三田土創立時代に於ける日本の護謨工業
- 18) 「東洋ゴム工業五十年史」東洋ゴム工業株式会社編 (1996)
- 19) 「藤倉ゴム工業よもやま話」藤倉ゴム工業株式会社編 (1992)
- 20) a) 白石工業：「創立50周年誌」ダイヤモンド社 (1970)；b) 白木義一私信
- 21) 田中宗一郎 (訳)「工業護謨化学」博文館蔵版 (1912) p205
- 22) 「平泉洋行資料」
- 23) 「ゴム時報」37 (11) p22 (1958)
- 24) 森鉄之助：「ゴム配合法」共立出版 (1958) p132
- 25) 森鉄之助：「ゴム製造法」化学工業協会 (1943)
- 26) 福岡春太郎：「ゴム配合法」自主出版 (1922) p2 (表2) p43 (表3)
- 27) 「ゴム技術入門」日本ゴム協会編集委員会 平成17年10月 p74
- 28) 山下弘一：「ゴム製造化学」早稲田大学出版会 (1924)
- 29) 佐藤定吉、森本衆逸：「護謨の研究」厚生閣 (1972)
- 30) 河岡豊：「加硫促進剤の使い方と理論」化学工業社 (1972) p3
- 31) 影山邦夫 私信 (2008)
- 32) 橋口昭利：日本ゴム協会誌、70p514、657 (1997) —わが国ゴム工業揺籃期と大戦後復興の一側面
- 33) 森山藤吉郎：「ゴム及びエボナイト配合—1」厚生閣 (1936) p17
- 34) 大北忠男：「ゴム加硫の理論と実際」黎明社 1951年8月 p44

4 成長期—国産タイヤ工業の創生 海外からの技術導入と国産技術化時代（大正～昭和終戦まで）

この時期に日本のタイヤ会社の創設（ダンロップ、横浜護謄、ブリヂストン、東洋ゴム）があった。配合技術を習得の後、この時期に国内のタイヤ会社が次々と誕生していった。

この時期の前半は海外メーカーの技術による国産化、もしくは国産技術による国産化の時期にあたっている。後半は戦時体制になって行き、海外技術は入って来なくなり、自前技術を発展させて行った時代であった。結局この時期はタイヤの基本性能である耐久性（長寿命）を上げるために技術力を傾注した時代と位置付けられる。

4.1 前半（導入期；大正元年～昭和5年ごろ）—日本タイヤ事初め

4.1.1 ダンロップ（極東）の技術の始まり

日本におけるタイヤ技術の始まりに関しては、前章でものべたように英国ダンロップの日本支社、ダンロップ（極東）の存在が大きかった¹⁾。

ダンロップのタイヤ会社がダブリンに発足して20年たった1909年（明治42年）、英国ダンロップ社は極東への進出をはかり、まず香港に会社を設立し、6か月後に日本市場の有望さを充分に見通した上で日本支店を設け、「The Dunlop Rubber Co. (Far East)」(「ダンロップ（極東）」) 工場を建設している³⁾。

脇浜の工場は、阪神・淡路大震災前の本社（現住友ゴム）・神戸工場の敷地の約3分の1、約1万6000平方メートル（5000坪）ほどの場所に、二階建て、煉瓦づくりで建設されたとある。この時のダンロップ（極東）の設立の登記簿本（図4.1；1909年、明治42年10月4日付け）が同社社史「住友ゴム八十年史」に示されている²⁾。

本格的な設備と優秀な技術を基礎とするダンロップ（極東）の出現は、まだ幼稚な技術段階に低迷していた当時のわが国ゴム工業に大きな刺激と影響を与えた。これは第一次大戦を契機とするゴム工業勃興の機運をつくるに至ったとされている。それが明治末期から大正の初期にかけ、同社の創立に刺激されて神戸市を中心にゴム製造会社が続々と設立され、あたかもダンロップ会社をめぐる衛星のような観を呈するようになっていたという³⁾。

このようにこの時期、ダンロップ（極東）はゴム技術・ゴム事業について先頭を走り、大正2年（1913年）自

動車タイヤの生産を開始した。この国産の自動車タイヤ第一号は、いまま住友ゴム本社に保管されている¹⁾。

図4.2参照。

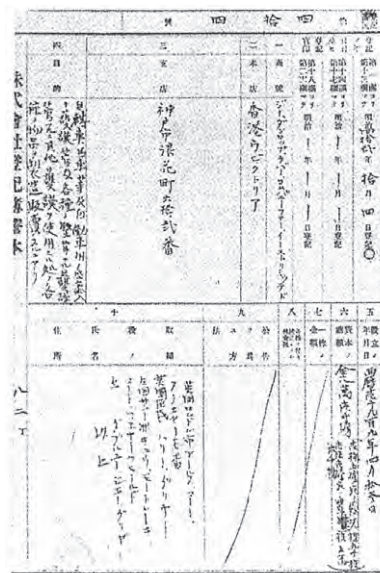


図 4.1 ダンロップ（極東）設立の登記簿本²⁾
1909年（明治42年）



図 4.2 日本で初めての自動車タイヤ第1号
大正2年（1913年）ダンロップ（極東）⁵⁾
「住友ゴム百年史」⁴⁾p44

このころは、極めて手づくりの色彩の強いものであった。製法は「ファブリックタイヤ」あるいは「キャンバスタイヤ」と称して、綿布を重ね合わせるやり方であった。この製法は、大正10年（1921年）頃まで続けられた⁴⁾。

このころタイヤの需要が大幅に伸びるとともに耐久性への要求も増した。この事に関して大きな技術上の変革が起こった。それはキャンバスタイヤ（ファブリックタイヤ）からコードタイヤへの変更であった。

4.1.2 横浜護謄（現 横浜ゴム）の戦前の技術

わが国の自動車タイヤは、まだ、ファブリック式タイヤの全盛時代であったが、アメリカではコードタイヤの時代に移りつつあった。この技術が最も早く現れたのは、1908年アメリカのJ.F. パーマー（J.F. Palmer）の発明による。スタレ布を使用した「コードタイヤ」はイギリスのシルバータウンケーブル会社が開発し、アメリカのグッドリッチ社で製品として完成された。

初期の空気入りタイヤは、骨格としてゴム引きしたキャンバス（織物；ファブリック）を使用していたが、キャンバスは通常の織物と同じで、縦糸と横糸が接触して交差しているので、走行中にタイヤのタワミによって糸が擦れ合い切れてしまうことが多かった。

コードタイヤ（スタレタイヤ）は縦、横の糸を直接織り合わせず、縦、横に相当する糸をそれぞれ平行に並べ、隣り合う2層の糸を交差する方向に重ね合わせることで一種の網目をつくることを考案した。このタイヤの出現は1910年にグッドリッチ社が製品化に成功したのであり、パーマーの発明の直後であった。

横浜ゴムはファブリック式タイヤの製造からはじめ、大正10年にコードタイヤの生産に乗り出した。コードタイヤが日本でつくられたのはこれが初めてである。コードタイヤの発明で耐久力はファブリック式タイヤの3倍に伸びた⁶⁾（図4.3参照）。

4.1.3 ブリヂストン（現 株式会社ブリヂストン）の創立

（1）建設までの経緯「ブリヂストン七十五年史」を基に記述する。

ブリヂストンの戦前のタイヤ技術の特徴は、国産、

自前の技術で開発製造に至ったということである。それまでは他社が外国の日本支社が製造するか、もしくは提携先の外国の技術を導入するという海外の技術導入であった。

創業者の石橋正二郎は、日本足袋の地下足袋およびゴム靴の量産・量産体制が確立しつつあった1928年（昭和3年）ころ、欧米諸国のゴム工業の主力は天然ゴムの6割を消費する自動車タイヤであり、将来の日本でもそうなるであろうと考え、自分の手でそのような状況を先取りしたい、自動車タイヤを国産化したいと考えた⁷⁾。

国産技術による自動車タイヤ事業への挑戦を決意したが、自動車をはじめとするタイヤなどの自動車部品は舶来品崇拜時代で、国産品は問題とされていなかったことも考え合わせると、タイヤ国産化の成功の見込みはまったく立っていなかったのではなかろうか。

日本フォード自動車も日本ゼネラルモーターズも、米国の本社での厳重な品質試験に合格したタイヤでなければ採用しないため、技術力の劣る日本製タイヤが新車装着用として採用される見込みはなく、また市販用（取替用、補修用）として使われるには、舶来品尊重の壁があまりにも厚すぎたという⁷⁾。

1929年4月、極秘裏に、自動車タイヤを1日300本製造するのに必要な機械類一式を、大阪市のヒーリング商会を通じて米国・オハイオ州アクロンのスタンダードモールド社に発注した⁷⁾。

「内容はバンナーマシン（タイヤ成形機）2台、ウオッチケースヒーター（垂直式加硫機）5台、モールド2面（タイヤサイズ：29×4.50、30×4.50 各1面）などで、機械のほかにスタレ織コード、ブレーカー、ビードワイヤーなどの材料であった⁷⁾」という。

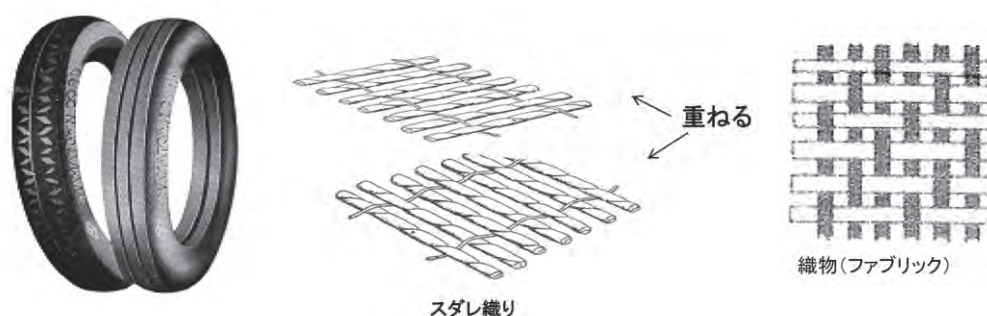
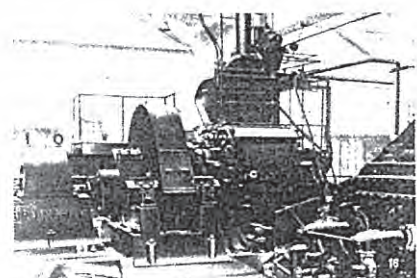
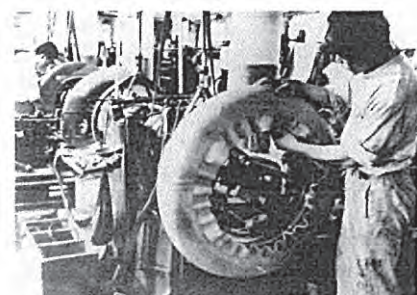


図4.3 コードタイヤ「ハマタウン・コード大正10年（1921年）製」⁶⁾とスタレ織り（コードタイヤ用）および通常の織物（ファブリック）

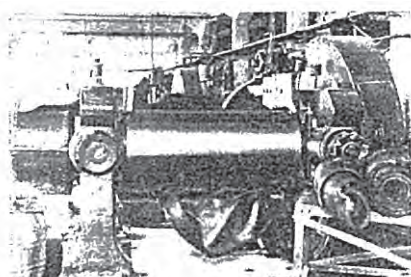
同社社史 p32 には工場内設備の写真が載っているが（下図 4.4 参照）、基本的には現在の設備構成と変わらず、当時としては最新設備を取り揃えていたことが分かる（現在では普通に用いられている混合機；バンバリーミキサーの写真も載っている）。



当時のバンバリーミキサー



仮工場でのタイヤ試作



当時の 22 インチロール



この時代のタイヤ工場内部。多くの女性がエプロン掛けして製造に携わっている

図 4.4 当時の工場設備⁷⁾

国産技術で開発するということで始めているが、自前の研究を基本としており、設備は当時の最新を使うというところがその後の成功に結びついたと言えるのではないだろうか。

第 1 号タイヤ誕生までは苦闘した。作業はなかなかスムーズには運ばなかった。中でも困難を極めたのが、タイヤの骨格となる補強層のプライコードの作製であった。加硫もまったく手探り状態での作業であったという⁷⁾。

そのような苦労を重ねながら、ついに 1930 年 4 月 9 日午後 4 時、自動車タイヤの試作に成功した。第 1 号の「ブリヂストンタイヤ」が誕生した（サイズは 29×4.50 4 プライ）のである。小型の乗用車用タイヤであった。次いで 5 月 11 日、第 2 号タイヤが完成した⁷⁾。

図 4.5 に記念タイヤ、図 4.6 はそのレプリカタイヤを示した。国産技術による第一号タイヤの誕生であった。

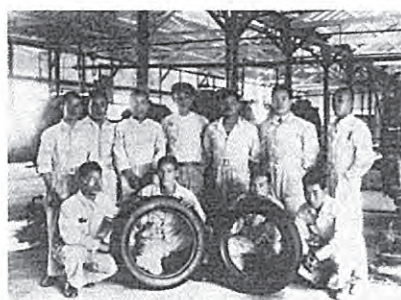


図 4.5 記念第 1 号タイヤ⁷⁾



図 4.6 1 号タイヤレプリカ（BS 博物館所蔵）⁸⁾

国産技術による事業立上げに至るには、最初の考え方が重要であった。このことについては創業者の影響が非常に大きかったと言える。

(2) 石橋イズムの具現化（「理想と独創」石橋正二郎 著より）

石橋正二郎によれば、昭和三年ごろ、地下足袋やゴム靴の大量生産はすでに緒についていたが、将来やらねばならぬものは何といても自動車タイヤであると思った⁹⁾といているので、最も重要なのはタイヤであると思っていたのである。

その感度は、わが国の自動車台数はわずかだが、将来は国産車がたくさんつくられて、5 百万台でも 1

千万台でも走る時代がくれば、タイヤは1千万本、2千万本も消費されるであろうから、われわれの手で純国産のタイヤをつくり、安い値段で売ることが自動車の発達のためにも最も必要なことである、と言っているほどのもので、かなり鋭敏な感度を初めから持っていたと言える⁹⁾。

地下足袋、ゴム靴の大量生産を続けている間に、石橋は静かにその主原料であるゴムを観察した。ゴムのあらゆる特質について考え、ゴムそのものの将来に思いをめぐらしたのである¹⁰⁾。

「理想と独創」によれば石橋正二郎には視野の広さと使命感があり、事業を進めてゆくとき技術開発に関する洞察力と社会の中に存在する会社という視点が見られる。

以上述べてきたように国内三社のタイヤ製造に対する初期の寄与は異なるとは言え、初期の苦闘の中から誕生させたと言える。戦争に向かう時代には外国の技術は入りにくくなってきて、結果的に見ると技術的な面では三社の間に大きな差はなかったようだ。

4.1.4 国産第一号タイヤへの貢献

国内三社の第一号タイヤへの貢献はつぎのようである。

ダンロップ（極東）（現 住友ゴム工業株式会社）

英国ダンロップの日本工場（神戸）が日本で初めての国産タイヤを大正2年（1913年）に製造。ダンロップ護謄（極東）明治42年（1909年）創立

横浜護謄（現 横浜ゴム株式会社）

グッドリッチ社（提携先）の技術を導入して 国産初のコードタイヤを大正10年（1921年）に製造。横浜護謄（大正6年）（1917年）創立

ブリヂストン（現 株式会社ブリヂストン）

初の国産技術第1号タイヤを昭和5年（1930年）日本足袋タイヤ部製造。ブリヂストン創立の1年前。ブリヂストン株式会社昭和6年（1931年）創立

4.1.5 戦中に創業した東洋ゴム

東洋ゴム創立

「東洋ゴム工業五十年史」¹¹⁾によると以下の記載がみられる。

東洋ゴム工業株式会社は、東洋ゴム化工株式会社と株式会社平野護謄製造所の2社を母体として誕生した。東洋ゴム化工は昭和13年5月、東洋紡績株式会社が自動車タイヤの生産を目的に設立した内外再生護

謄株式会社が、同年10月に社名を変更した。以来、両社とも東洋紡績によって育成されてきたが、両社が合併して終戦直前の昭和20年8月1日、東洋ゴム工業として新発足したものである。

これらの記述から東洋ゴムの創立を昭和18年とするのではないと思われる。「タイヤの話」¹²⁾の年表によると、「1943年 東洋ゴム工業設立（昭和18年）」とある。

4.1.6 その他のタイヤ会社の創立¹²⁾

「タイヤの話」の年表（p232～233）によると、戦中から戦後にかけて以下のようにその他のメーカーもタイヤ事業に参入している。

1944年（昭和19年）大日本航空機タイヤ（後のオートタイヤ）設立

1949年（昭和24年）日東タイヤ（後の菱東タイヤ）設立

1964年（昭和39年）岡本理研（株）タイヤ事業に参入

4.2 後半（国産化期：戦中の技術、昭和5年～昭和20年）

戦争の勃発から終戦まで（戦時物質としての生産拡大と統制による技術）

昭和5年以降になると世相は暗くなってゆき、戦争の足音が聞こえるようになってきた。これ以降軍事色が強くなっていった。戦時体制に入ってタイヤ各社は軍事物資を提供するという体制を整えていった。タイヤにおいては耐久性のような過酷な条件下での性能向上が要求されるようになっていった。結果的には外国の技術が入って来にくい状況下で国産技術が研究され、自前技術が発達していった。とくに太平洋戦争勃発後は軍事色一色になり、タイヤ工場は軍需工場の指定をうけ、最初は軍事特需もあったがそのうちに原料不足に陥り、生産も困難になっていった。

このような時期タイヤ各社は技術の分野でどのように対処していったかを見てみたい。

4.2.1 日本ダンロップ（現 住友ゴム）

この時代、独占的に陸海軍に納入していたダンロップ（極東）の軍需品供給も危機に瀕し、納入継続のためにも、なんらかの手段を講ずる必要に迫られた。1933年（昭和8年）に入っても、タイヤ市場は依然激しい競争が続いていたが、円為替の下落も加わって、自動車タイヤはほとんど輸入されなくなり、わが国は自動車タイヤ自給時代に入ったのである。

このころのダンロップ（極東）は自給時代に入った

自動車タイヤ¹³⁾として次のようであった。

1932年（昭和7年）は政治的にも暗い年であり、前途の不安が予感されるようであった。国内では、にわかに外資排斥の声が高まり、かつて独占的に陸海軍に納入していたダンロップ（極東）の軍需品供給も危機に瀕し、納入継続のためにも、なんらかの手段を講ずる必要に迫られた。

ダンロップ（極東）はこの打開策として、海軍との関係を強化する道を選んだ。

生産・販売体制の拡充のために1929年（昭和4年）新工場の建設が始まった。建築開始から3年、既存建屋を改築する形で建設した。

「新工場は四階建であり、地階には84インチのオーブン・ミルが設置されカーボン配合トレッド用のゴムの配合が行われた。地階に隔離してカーボンの飛散を防いだ。

一階はミル・ルームで、薬品計量、素練り、非ブラックゴムの混合にあてられ、84、60インチミルなどのゴム練りロールと、各種のカレンダーが置かれた。

二階は自動車タイヤ工場、トレッド押出機、ビード成形機が置かれ、タイヤの成形機と加硫機が並んでいた¹³⁾」ということであった。

この設備構成を現在と比較すると、混合機が現在のインターナルミキサーと違ってロールを使っているという違いがあるにせよ基本的には現在と変わらないので当時としては最新の設備をもっていたのであろうと推察される。

ダンロップ（極東）は1937年（昭和12年）「日本ダンロップ護謨」に改称しているが、さらに1943年（昭和18年）1月29日、日本ダンロップは「中央ゴム工業」となった。この時期、航空機生産は戦争の勝敗の鍵をにぎるものとして、陸海軍ともに、もっとも力をいれた産業である。前年（昭和17年）の航空機の実生産は増大して8800機となったが、この年は倍増の1万7000機が生産されている。

中央ゴムでは航空機用タイヤの開発も推進し、独自の技術でこれに成功。陸軍に納入したが、海軍からも要請され、1944年度の航空機用タイヤの売上高は、防弾タンクに次いで570万円に達し、トラック・バス用タイヤを抜いて第二の主力商品になった²⁸⁾。

創業35周年目の1944年（昭和19年）を迎え、総力戦体制の中、中央ゴムは「軍需会社法」の指定により、「神武第七一七六工場」という秘匿名の軍需工場になった²³⁾。

原材料不足下で軍需物資提供を総力体制下でおこなったということであった。

4.2.2 横浜護謨（現 横浜ゴム）¹⁴⁾

昭和6年9月に勃発した満州事変で軍用自動車の需要が盛んになった。これにともない政府や軍部では国産自動車工業保護育成に力を注いだ。これら自動車増産にともないタイヤの需要も激増した。同社では昭和9年3月から横浜工場の第一次タイヤ工場拡張工事に取りかかった。

技術の最重要課題は耐久性であった。激しい販売競争から生き残るためには需要増に満足してもらえないタイヤを開発しなくてはならない。同社の技術陣は、タイヤの耐久性を増すことに専念した。昭和12年4月、タイヤおよび工業品の全商標を「グッドリッチ」から「ヨコハマ」の頭文字“Y”をトレッド模様採用した「Y型新タイヤ」を発表。このタイヤは連続した「Y型模様」が特徴で、新たに開発された特殊タイヤコード（昭和14年特許取得）と相まって従来品に比べて2～3倍の耐久力を発揮し非常な好評を博したとある。

おそらく戦時での要求もあって、他社も含め耐久性向上は大きく進んだと思われる。

4.2.3 技術の例

（1）昭和天皇のベンツ（グロースメルセデス）へのタイヤ提供と国産車

グロースメルセデスは、世界の元首、大富豪用につくられた超高級乗用車で、排気量7700cc 出力150馬力、最高速度140km/hという巨大エンジンを積み当時としては驚くべき高性能車であったという。昭和12年、当時の宮内省より装着すべきタイヤの製造依頼を受けた横浜護謨は、1年半の開発期間を経て完成させた。このタイヤではチューブに布入りシーラントを内貼りし、くぎがささってもエアがぬけない特殊設計になっていた。サイズは7.50-20であった¹⁵⁾。

このような超高性能の車に装着されたタイヤの耐久性は現在のタイヤと遜色ないレベルであろう。従ってこの時期すでに国産技術があるレベルに達していたと思われる。外国の技術が導入しにくくなれば自分達で工夫するという日本の技術者のレベルを示す一例であろう（図4.7参照）¹⁵⁾。

この時期、乗用車の技術も大いに進歩し、国産乗用車も開発されていた。図4.8にトヨタ製初の乗用車（トヨタAA型；レプリカ）を示した。タイヤはブリヂストン製である。

諸事情から考えるとこの時期は、導入した海外の技術は既に習得し、国産技術特に耐久性でもすでに高いレベルにあったのではないか。応用力の時代に入っていたと思われる。

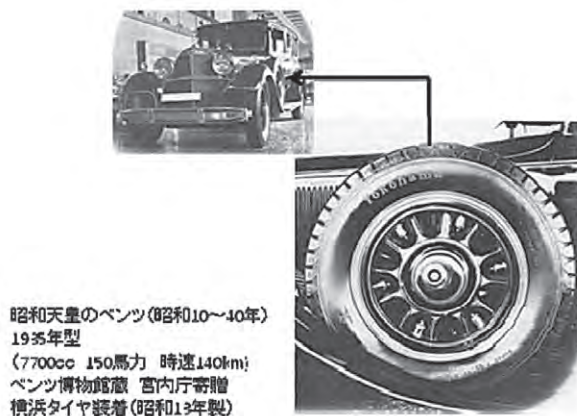


図4.7 天皇のおくるま(「ヨコハマゴムニュース」より)¹⁵⁾



図 4.8 トヨタ AA 型 1936 年 トヨタ初の乗用車
(レプリカ)¹⁶⁾ タイヤ 550-17 (ブリヂ
ストン製) トヨタ博物館蔵

(2) 航空機タイヤ

横浜護謄でも、昭和 16 年の第二次世界大戦開戦以来、軍用ゴム製品の需要は増加の一途をたどった。とくに、航空機用タイヤは戦局への影響が大きいということから、同部門の拡充は急がれていた¹⁷⁾。

そこで 1943 年(昭和 18 年)横浜工場は、全面的に陸海軍の指揮監督下に入った¹⁸⁾。

そのような状況で「ゼロ式戦闘機」のタイヤも作られた。

昭和 38 年、グアム島で発見されたゼロ戦機にヨコハマタイヤが装備されていたという。風雪 20 年を経たその飛行機は見る影もなく傷ついていたが、タイヤだけそのまま使用にたえる状態にあった¹⁷⁾とある。このことから国内の自前技術の耐久性が高かったことを示している(図 4.9 参照)。



図 4.9 ゼロ戦タイヤ¹⁷⁾
横浜ゴム平塚工場所有
(昭和 18 年 5 月製)

4.2.4 ブリヂストン¹⁹⁾

(1) 戦時統制

1939 年 1 月、商工大臣通達により、軍用以外の乗用車製造は禁止され、小型トラックの製造もほとんど禁止の状態となった。これに伴い、自動車タイヤの生産も普通トラック用に限られ、そのほとんどが軍用品になっていった¹⁹⁾。

一方航空機用タイヤは 1939 年から本格的な生産と納入を開始した。戦況の激化とともに生産は急増した。1939 年に約 3000 本であった年間生産本数は、1944 年には推定で 60 倍近い 17 万 6000 本にのぼった。

戦時下の航空機関連事業としては車輪製造にも進出している。1942 年、軍から航空機タイヤと車輪を組み合わせて納入することを命じられたことに対応したものである。

(2) 戦闘機「隼」用タイヤ

社史の中に当時の戦闘機「隼」用のタイヤが載っているが(図 4.10)「ブリヂストン博物館」には「隼」用タイヤの実物が残っている(図 4.11 参照)。あまり劣化も見られないよい状態である⁸⁾。



戦闘機「隼」用タイヤ「560X190」
(1942 年 3 月製造)

図 4.10 戦闘機「隼」用タイヤ²⁰⁾
「ブリヂストン75年史」



図 4.11 戦闘機「隼」用タイヤ⁸⁾
サイズ 570—190 昭和 19 年 2 月製
日本タイヤ株式会社製 ブリヂストン
博物館所蔵

戦時の技術力が、軍需物資中心という側面はあったものの独力で高くなっていたということである。

なおこの時期、1942 年 2 月 20 日、英語社名を変更せよという軍部の要請により、社名を「日本タイヤ株式会社」に改めた。これにより、1951 年 2 月 25 日までの 10 年間、ブリヂストンタイヤの社名は姿を消すこととなった。

(3) この時期の航空機タイヤの技術レベル

戦中の航空機タイヤの開発について服部六郎氏の「タイヤの話」よれば次の記載がある。

「今考えてみると戦前、戦中はわが国の航空機タイヤの受難の時代であり、航空機設計者の多くの人々の考え方は、空中を少しでも速く、少しでも遠く飛び、空中ではいらないタイヤなどは必要悪以外の何物でもなかった。そこである寸法以内でこれこれの重量を支えるタイヤをつくれというような要求がタイヤメーカーに出された。・・・このような設計上のムリと、未熟な製造技術のためタイヤの破裂が原因で顛覆大破する事故が頻繁に起こったのである。

しかし関係者の懸命の努力で雲をつかむようであったタイヤの耐久性向上にも曙光が見えはじめ、タイヤ設計諸元からおおよその耐久力の推定がなんとかできるようになってきた。」²¹⁾

開発現場にいた人（服部氏は元ブリヂストンの技術者で、戦中海軍で航空機体の設計に従事していた）の言っていることなので、信憑性がある。

戦争末期にはかなりの耐久性レベルに達していたと推定される。

4.2.5 東洋ゴム工業²²⁾

「東洋ゴム工業 50 年史」によると次のような状況であった。

「当時（昭和 16 年頃のこと；著者注）、東洋ゴム化工（前身；著者注）におけるタイヤの生産規模は、いまだ揺籃期を出ない状況にあったが、戦局の拡大とともに軍需用タイヤの確保が最優先となり、これに対応せざるをえなくなった。

これと関連して、川崎車両株式会社（現・川崎重工業株式会社）が製造するトラックに東洋ゴム化工をはじめとする各社のタイヤを装着して、5 日間にわたる走行試験が行われた。神戸を出発し、岡山県から鳥取県を走行するという当時としては過酷な試験であったが、その結果、他社に勝る耐久性を実証することができた。この優れた試験結果により、東洋ゴム化工の製品を高く評価した川崎車両から、軍用トラックのタイヤ及びチューブを初めて受注することができた。」

この記載からも東洋ゴム工業においても耐久性のレベルの高いタイヤの開発を行っていたことがわかる。

以上のことからこのころからすでにタイヤの基本性能である耐久性について関心も持ちレベルも上がっていたと考えられる。

4.3 戦時統制への業界の対応

この時期業界の技術協力のようなものができて行った。

ブリヂストンによれば 1938 年 1 月、日本ダンロップ護謄、横浜護謄製造、当社（日本タイヤ；現ブリヂストン 著者注）の 3 社は 7 月に予定されていたゴム配給統制を見越して日本自動車タイヤ工業組合を設立し、4 月に政府の認可を得た。同組合は日本タイヤ協会の協力のもとに業務を行ったが、1939 年 3 月の同協会解散後、その業務一切を継承したとある²⁰⁾。

なお、日本自動車タイヤ工業組合は、1943 年 1 月に発足したゴム統制会に業務を継承して解散した。

4.3.1 戦中の技術

戦争末期には、上に述べた統制会の事業というようなものがあった（昭和 19 年）。

「日本ゴム工業史」によると次のようである。

ゴム統制会は「高度国防国家体制を完備する為の販売並びにゴム製品の製造及び販売に関する事業（以下ゴム産業と称す）の総合的統制運営を図り且ゴム産業に関する国策の立案及び遂行に協力する」（定款第一条）ことを目的とし、この目的達成のために各種の事業を行うことになっていた。

この事業を大別すれば、政府の計画策定に直接間

接に参加することと、政府の施策遂行に協力することとの二つに分けることができるが、とりわけ国策の遂行に関する協力こそ統制会の根本的使命と考えられた。

(イ) 政府計画への参画

(ロ) 統制遂行への協力

統制遂行への協力については 1 生産統制 2 原材料への需給統制 3 製品の配給統制 4 価格統制 5 労務統制 6 技術統制 7 企業整備 があった。

このうち「技術統制」に関しては、大戦下の生産増強のために、ゴム工業の技術向上、能率向上、能率増進をはかることは、重要任務の一つであった。

ゴム統制会は技術の研究、改善あるいは交流公開などについて、会員に対し指示、斡旋につとめ、また技術部のほかに技術委員会を設け、さらにその下に製品部会において、技術統制の万全を期したが、1944 年(昭和 19) 四月技術交流ならびに公開に関する九ヶ条の規程を作成し、これによって技術の交流・公開に対する具体的取決めならびにそれに伴う報償制度を規定し、生産増強の要請に応ずることとなった²⁴⁾、とある。

この内容について次のようなゴム分野における効率的技術進歩があったという記述がある。

4.3.2 ゴム技術の特異な進歩²⁵⁾

「日本ゴム工業史」によれば太平洋戦争が深刻化するにつれて原材料の逼迫と、それに伴うゴム製品の品質低下が生じ、しかも一方では製品の質と量との優位を同時に確保すべき要請が強まってきたので、ゴム統制会技術部では現場技術の改善のために、優秀技術の公開交流を企画実行した。

これによって、ゴム工業の技術水準は全般的に急速に高まったのであって、ゴム技術史上でも画期的な意義をもつものであった。すなわちこのような技術水準の高度化を基盤として、戦後における日本のゴム工業の急速な復興と発展がもたらされたのだといっても過言ではあるまい、とのことである²⁵⁾。

諸資材類の研究 によると以下のようなようである。

1 原材料

(1) 原料生ゴム (2) ラテックス (3) 再生ゴム

2 副資材

(1) カーボンブラック(補強剤)の国産化

カーボンブラックの国産化が続々と現れた。

(2) 繊維類

太平洋戦争にはいって一時南方資源の入手が容易になっても、繊維原料だけは依然はなほだし

い欠乏状態にあった。

1942 年(昭和 17 年)に強力人絹の生産指示が出されて、東洋紡を中心とする強力人絹の実用時代にはいり、自動車用タイヤの約 20～30%が人絹コードによって充足されるようになった。横浜護謄、日本タイヤ、中央ゴムの三社はそれぞれ人絹会社と呼応して試作を行い、トラック乗合自動車にとりつけて走行試験を行ない、相当優秀な成績を報告した。1943 年にはいると、新設された人絹統制会の技術部が提唱してタイヤコード用強力人絹の暫定規格を制定した。1942 年 8 月から 43 年 7 月まで一年間にわたって実用試験を行った鉄道省管理局自動車第三課の報告によれば、「タイヤ 12 本のうち在来のエジプト綿コード製品の平均寿命(1942 年度 2 万 4141 キロメートル)を超過せるもの 6 本、90%以上のもの 2 本、80%以上のもの 3 本、68%のもの一本」という好成績を示し、平均実行キロ数も 2 万 5228 キロと普通品を凌駕する状態であると認定された²⁷⁾。

以上に示されているように、統制による時代であり、各社が呼応して技術を共通して開発したため技術開発が急速に進んだ。この技術公開結果は他にも残っている。自国での自前技術で生きなければならない状態に置かれると技術の進展があるということである。

服部六郎氏の「タイヤの話」²⁶⁾によれば、綿のタイヤコード技術について次のような記述がある。

「紡績糸は短繊維のからみで力を伝えているので、原綿の繊維は長い方が良質ということになっており、原綿の格付けは熟練者が一つまみの綿を両手の親指と人さし指で挟んで梳くようにして何回か引きちぎり、ちぎっては揃えてそれを何回か繰り返して最後に黒いビロードの布の上にならべて、いうなれば繊維長のスペクトル図を作り、綿質の判定をする習慣であった。

もっとも後には強力をそろえ、余分な伸びを殺すためにローストレッチ(Low Stretch)処理が行われた。これは撚糸工程で強い張力をあたえて撻きとる方法で、水をつけたり特殊な固定剤を用いたりして伸張が戻るのを防いだ。この処理によって綿コードの性質を大きく改善することができた。第 2 次大戦中自社(日本タイヤ;ブリヂストン;著者注)の航空機タイヤの寿命のバラツキに悩まされていたのが、海軍主導の技術公開によって横浜ゴム社のローストレッチ工法を導入した結果大幅に寿命が向上し、バラツキも少なくなったというのは私が直接先輩に伺った実話である。」

実際に技術統制会の影響ともいえるべきこともあったということであろう。

「ゼロ戦」や「隼」などの航空機への技術として応

用されたとと思われる。前述のように現状残っている日本タイヤ社（ブリヂストン）の戦闘機「隼」のタイヤも横浜ゴム社の「ゼロ戦」のそれも表面から見る限りあまり劣化も見られず、当時の技術の高さがうかがえる。

これなども技術公開によって品質向上を組み入れて行ったという結果ではなかろうか。

4.4 まとめ

以上みてきたように大正から昭和の終戦までの時代を観察するとこの時代も二つに分けられる。

1 外国のタイヤ会社の日本工場もしくは外国の技術を導入の時代（ダンロップ、横浜）

このグループは外国の技術を導入しつつもそれを習得して、自前技術化した。

2 はじめから自前技術で始めた時代（ブリヂストン、東洋）

昭和の戦争の時代に近づくとも外国を排斥するようになったので、勢い自前技術でやらざるをえなくなったので、1も2も差はなくなり、性能生産技術とも急速に進歩したと考えられる。しかも戦中には自前技術ですべてを生み出さねばならず、結果的には、原材料の極端な不足の条件下で過酷な使用条件を要求される軍への対応力を伸ばして、技術は高かったと想像される。この時期耐久性に対するレベルは急激に上がったと思われる。

引用文献

- 1) 「住友ゴム八十年史」住友ゴム工業株式会社 1989年10月 p31
- 2) 「住友ゴム八十年史」住友ゴム工業株式会社 1989年10月 p18
- 3) 「住友ゴム百年史」住友ゴム工業株式会社 2009年12月 p39 に以下が引用されている。
「日本ゴム工業史 第一巻」日本ゴム工業会編（昭和44年11月1日）p203-204
- 4) 「住友ゴム百年史」住友ゴム工業株式会社 2009年12月 p44
- 5) 「住友ゴム百年史」住友ゴム工業株式会社 2009年12月 巻頭ページ参照
- 6) 「ヨコハマゴム創立 50 周年」横浜ゴム株式会社 昭和42年10月 p22。このコードタイヤについては「住友ゴム八十年史」p33にも記載されている。
- 7) 「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008年5月 p31～33
- 8) ブリヂストン博物館（BRIDGE STONE Today）所蔵 小平市小川東町3丁目1番1号
- 9) 石橋正二郎：「理想と独創」ダイヤモンド社 昭和44年12月 p27
- 10) 石橋正二郎：「理想と独創」ダイヤモンド社 昭和44年12月 p152
- 11) 「東洋ゴム工業五十年史」東洋ゴム工業株式会社 平成8年3月21日 p65
- 12) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成4年6月 p232～233
- 13) 「住友ゴム八十年史」住友ゴム工業株式会社 1989年10月 p89
- 14) 「ヨコハマゴム創立 50 周年」横浜ゴム株式会社 昭和42年10月 p27
- 15) 「天皇のおくるま」ヨコハマゴムニュース No34 1972-10 p10
- 16) 「トヨタ博物館」所蔵 愛知県愛知郡長久手町大字長湫字横道 41 番 100 号
発売当初は「トヨタ」と濁点がついて呼ばれていました。1936年10月に濁点なしの「トヨタ」に変わりました（トヨタ博物館談）。
- 17) 「ヨコハマゴム創立 50 周年」横浜ゴム株式会社 昭和42年10月 p31
- 18) 「80 周年記念 We 特別号」横浜ゴム株式会社 1997年10月13日 p53
- 19) 「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008年5月 p55～56
- 20) 「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008年5月 p57
- 21) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成4年6月 p23 より
- 22) 「東洋ゴム工業 50 年史」東洋ゴム工業株式会社 平成8年3月 p70
- 23) 「住友ゴム八十年史」住友ゴム工業株式会社 1989年10月 p123～124
- 24) 「日本ゴム工業史 第一巻」日本ゴム工業会編 昭和44年11月1日 p317～320
- 25) 「日本ゴム工業史 第一巻」日本ゴム工業会編 昭和44年11月1日 p328
- 26) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成4年6月 p108～109
- 27) 「日本ゴム工業史 第一巻」日本ゴム工業会編 昭和44年11月1日 p332
- 28) 「住友ゴム八十年史」住友ゴム工業株式会社 1989年10月 p121～122

5 | 成熟期—モータリゼーション時代

5.1 1期 戦後復興時代の技術

5.1.1 新規材料時代

—戦後モータリゼーション時代の幕開け

(1) 戦後の状況

戦後の混乱期からの立ち上がり¹⁾(新原材料の時代)は以下のような状況であった。

ゴム工業は、戦災によって莫大な被害を被ったにもかかわらず、戦後他産業の混乱をしり目にしてその立ち上がりが比較的早かった。その理由は戦前および戦中を通じて団体的統制の訓練を受けてよく団体的行動をとってきたこと、また戦時中陸海軍の保有していた生ゴム及び繊維類等が終戦とともに民間に放出せられ、しかもその量が戦時中一般に予想されていた以上に大量であったこと、なおまた軍需から民需への転換が比較的簡単に行われたこと等、なかんずく20年8月末ゴム統制会が政府の方針に基づいていち早く「ゴム工業の新事態処理暫定措置に関する件」として、全国ゴム工場に対し、適切な指示を行ったことがその最たる理由をなすものであった¹⁾。

この指示とは要するに純軍需品は即時生産停止し、民需用は生産継続もしくは増産するというものであった。

この時期はモータリゼーションの入り口にいたのであって(図5.1参照)²⁾、その後の急激な車社会になるに当たってタイヤも大きな変化をみせた。この時期の特徴は新原材料の登場である。

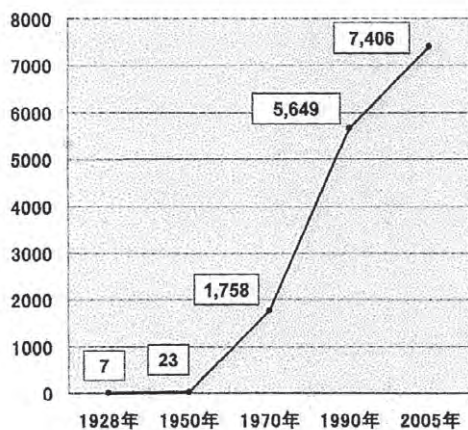


図 5.1 日本の4輪自動車保有台数(単位:万台)²⁾
(世界自動車統計年報第6集 2007年版)

(2) 新規材料の登場

この時期は、日本のタイヤ工業にとっては、戦後になって再び開かれた、外国からの技術を受け入れ習得して行く時期になったのである。

最も大きな変更は新素材導入であった。それは補強材における綿からレーヨンさらにナイロンへの合成繊維への変更、原料ポリマーにおける合成ゴムの登場であった。したがってこの時期バイアス用の加工機を変えないで新原料を採用するという難しさがあった。ナイロンやSBRを使いこなす苦労話が残っていた。つまりこの時期は原材料変更の時代であった。

(3) 補強材(タイヤコード)

①タイヤコード変遷

タイヤは現在のことで表現すればFRR(Fiber Reinforced Rubber; 繊維補強ゴム)である。このような構成になったのは、タイヤが圧力容器だからである。タイヤは一種の風船であるが、その内圧に対抗するには、当然ゴムだけでは支えきれず、強度が高く、伸びない材料で包む必要があった。それには繊維材料が必要ということになる。タイヤに内圧を張った状態ではタイヤコードに張力がかかる。実際のタイヤは繊維やスチールコードなどの補強材で包んである。補強層にかかる張力は、内圧と各部の形状の釣り合いで決まる。したがって回転しているタイヤにおいてはコードにかかる張力も変動する。それゆえタイヤコードに対する評価は、強度や破断伸びだけではなく、疲労や劣化、コードとゴムの接着などの見地から考えなくてはならない。

アメリカでは、1940年ごろレーヨンが使われ始め、1950年代になるとナイロンが現れ次第に勢力を伸ばすとともに、よりコストの安いポリエステルが使われるようになって行った。戦後の日本のレーヨンコードはナイロンに置き換わっていったがその時期は次の図5.2に示すように消費量をみると1960年代の中間に入れ替わってナイロンが主流になっていったことがわかる。ナイロンへの置き換わりはアメリカはほぼ10年早かったと思われる。このことは、戦争末期に九州爆撃にきたB29のタイヤに日本では見られなかったナイロンが使われていたことが判明し、その耐衝撃性、耐疲労性からみて航空機タイヤに最適であることから、戦中からすでに使用されていたということだった⁵⁾。

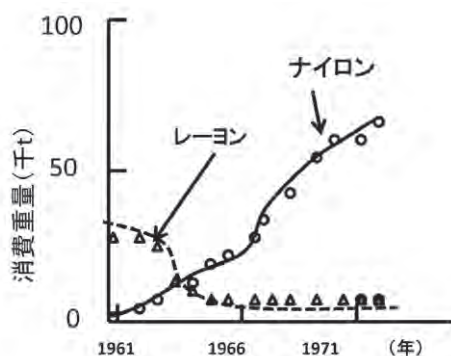


図 5.2 戦後のタイヤコードの変遷¹⁰⁾

②タイヤコード各論⁴⁾

1) 綿コード

再生繊維や合成繊維の出現するまでは、工業用繊維としては、綿が性能・価格・入手可能な量的な面などで唯一の繊維であった。タイヤコードとしても綿がもっとも使われた。綿は短繊維であるので、繊維を引き揃えて撚り糸にするためにはその繊維を引き揃えて撚り糸にするいわゆる紡績工程を経なければならない。

2) レーヨンコード

天然の繊維（セルロース）を化学的に取り出し、再度繊維化したものである。タイヤコードは木材などから作ったパルプを苛性ソーダで処理し、二硫化炭素で溶かし反応熟成させたビスコースという粘性液体をノズルから押し出して糸にするビスコース法という方法で作られる。その後高品質のタイヤコードががつぎつぎに現れたが、レーヨンは人絹、強力人絹などと呼ばれ、製造条件がよければ最近でも騒音、フラットスポット（車が停止後冷えてタイヤの路面に接した部分に変形する現象）が出ないといった性能が評価され、高性能タイヤに使われたほどであった。ラジアルタイヤ出現後は高速性能用に、主としてヨーロッパでカーカスに使われている。わが国では紡糸された糸を短繊維に切って、それを紡いだステープルファイバーとしてコードを作ったことがあるが成績はよくなかった。

3) ナイロンコード

1950 年ころ日本では合成繊維ナイロンがタイヤコードとして市場に現れた。溶かした液を熔融紡糸で作る。そのままでは伸びが大きいので、延伸操作をおこなって、結晶を揃えて強度をあげ、伸びも適当な範囲とする。

当時のタイヤはトラック・バス用が主体であったが、ナイロンはその要求に合った。現在でもトラック・バス、建設機械用、航空機用などなどのヘビー・サービス向けのバイアスタイヤにはナイロンが使われている。ナイロンはレーヨンより強度が高く、レーヨンは

ど水分による強度の低下が生じない。しかし熱を加えると収縮を起こすので、加硫後空気を充てんしたまま冷やす工程が必要である。

後に乗用車のラジアルタイヤの補強層はスチールコードとポリエステルという組み合わせになっている。そのように変換していったので、ナイロンはその主要な座を譲ったかにみえたが、ベルトの上にさらに周方向に繊維の補強材を巻くというタイヤが増え、その補強材としてナイロンが多く使われるようになって今日まで再び大きな利用分野を勝ち得ている。この補強層は走行により温度があがった状態で、熱収縮力によりスチールベルトのうえにもう一つタガをはめたようになって、高速耐久性を改善することができる。ナイロンは材料の榮枯盛衰を非常に明確に短期間に示した。

(4) 有機繊維系タイヤコードの接着

① RFL 接着剤

RFL とはレゾルシン (R)、フォルムアルデヒド (F)、ラテックス (L) の組み合わせた繊維の接着剤である。1940 年代にチャーチとマニーらが、ゴムラテックス水溶液にレゾルシン・フォルムアルデヒド樹脂を加えた液状接着剤で優れた接着力が得られることを見出した。以来約半世紀以上にわたって RFL がレーヨン、ナイロン、ポリエステル、アラミド、さらにはガラス繊維などの主な接着剤として使われた。

その接着機構については図 5.3 に示すように考えられているが、図に示すように左側にナイロン右側にゴムがあってレゾルシンとフォルムアルデヒドは容易にその間で 3 次元の樹脂化反応を起こす。この樹脂とナイロン・ゴムとは基本的には一次結合（化学結合）ではなく、二次結合（水素結合）が接着の主因であるとされている。図で示されているようにゴムとナイロンの間にレゾルシンの樹脂化反応が起こってナイロンとゴムの両者の間に樹脂が生成する。このことはナイロンとゴム間に樹脂化反応をともなう接着剤が生成していると考えられることができる。

RFL 樹脂はこのようなほとんどの繊維に対して汎用に用いられるという大発明であり、タイヤ工業に対する貢献度は極めて高い。

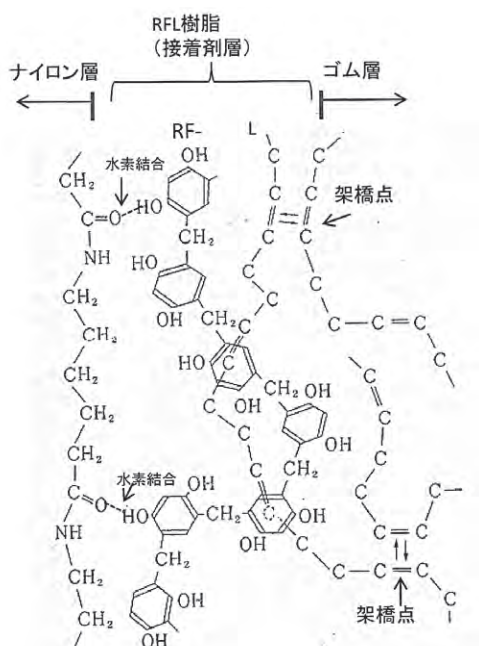


図 5.3 ナイロンとゴムの RFL による接着機構⁸⁾

(5) 各社のコード変遷

コードの変更についてはブリヂストンの社史によれば、つぎのようである。1950年代のアメリカの事情が、綿コードはほとんど使われていなくてレーヨンになっており、しかも安いということから同社でもレーヨン化をすすめたとのことである。1952年には80%がレーヨンタイヤに切り替わったというのだからいかに変換が速かったかがわかる。

その後、ナイロンへのコード変更(始めは航空機タイヤ用)が起こったが、この変更も早く、1959年には販売を開始した。このころのコード変化の激しさがわかる¹⁸⁾。

横浜ゴムにおいても1950年、レーヨン使用のタイヤを開発した。1955年にはナイロンコードを使用した航空機用タイヤを国産化している¹³⁾。

東洋ゴムにおいても同時期にレーヨン化があった。同社の社史によると、昭和26年、タイヤメーカー各社はレーヨンコードを使用し始めていたが、同社は昭和27年2月にディッピングマシンを完成させ、セパレーション対策として、レーヨンタイヤを市場に送り出した¹²⁾。

ナイロンタイヤは昭和29年春から本格的な研究を進め、昭和33年12月から全国一斉にトラック・バス用のタイヤとして販売を開始した¹²⁾、とある。

以上のようにほぼ同じ時期にコードのおおきな変更が起こっている。

(6) ゴム・コンパウンドの構成

タイヤに使われるゴムは、種々の配合剤の混ぜ物(コ

ンパウンド)である。つまり基本的には、天然ゴムやSBR(スチレン・ブタジエン ラバー)などの合成ゴム(原料ゴム)にカーボンブラック(カーボンと略す)などの補強剤、さらに加硫剤(架橋反応させて弾性ゴム化させる)老化防止剤(耐久性用)などの配合剤を添加して、混合し、混合物(コンパウンド)を構成する。これらのコンパウンドは、原料ゴムと補強剤と加硫剤などの量比を変えることによって、要求されるゴム、つまり硬いゴムから軟らかいゴムまでの各種が各パーツ用につくられている。ゴムの特性へは体積が多いほど影響が大きいので原料ゴム(ポリマー)の影響が最も大きい。

①合成ゴムの採用へ(原料ポリマー)

わが国の合成ゴムについては、第二次大戦直前に政府がその軍需的重要性に着目し、1938年(昭和13年)に合成ゴム工業確立10カ年計画を立て、1941年(昭和16年)から「有機合成事業法」を公布してその保護育成を図った¹⁶⁾。

わが国のブタジエンゴムの工業化研究は戦争にはいつて一層活発になったが、南方占領によって天然ゴム資源を確保し得たのでSBRは必要がなく、耐油性ゴムNBR(アクリルニトリル・ブタジエンゴム)の製造に重点がおかれた¹⁶⁾。

終戦とともに連合軍司令部が合成ゴム製造を禁止して一頓挫したが、1950年ごろから再び合成ゴム国産化の必要性が通産省、日本ゴム工業会や民間企業で論ぜられた。その後わが国でも石油化学工業計画が具体化するにつれて、1955年ごろから合成ゴム原料をアルコールからではなく、石油分解ガス中のB-B留分に求める計画が立てられた、そして1957年に「合成ゴム製造事業特別措置法」を公布、政府出資10億円で資本金25億円の日本合成ゴム(株)を創立し、アメリカのGoodyearより技術導入して、SBR4.5万トン/年の四日市工場が1960年から稼働開始した¹¹⁾¹⁶⁾。

一方、「日本ゼオンはアメリカGoodrich Chemicalから技術導入して、NBR、高スチレンゴムなどのSBR以外の特殊ゴムを主とする8500トン/年の川崎工場を、1959年から動かし始めた。1962年からSBRの生産を始め、SBR1万トン、NBRなどの特殊ゴム2万トン、計3万トンまで増設した。さらに1965年に徳山にSBR2万トン、BR1.5万トン計4.5万トン/年の第2プラントを新設し、原料ブタジエンは自社技術の抽出蒸留法を利用して自給化を計った。」¹⁶⁾

天然ゴムからSBRへの変更は、タック低下で苦勞した。タイヤは製造時成形工程で未加硫ゴムの材料を

重ねて成形して行くが、このためにタック（粘着性）が必要だが、SBR は天然ゴムよりタックが低く、成形に苦労した。この件は、アメリカで粘着付与剤（タッキファイアー）が発明され、その後広く使用されるようになって行き解消されていった¹⁷⁾。

また SBR と伴に充填剤・油の多量配合がなされるようになり、混合技術も変化していった。

「日本合成ゴム株式会社」設立時にブリヂストン研究部東京分室の大部分のメンバーは移籍し、SBR 製造を成功させた。一方シス・ポリブタジエンゴムでは「ブリヂストン触媒」を完成させ、1959 年に特許出願するとともに、本触媒によるシス・ポリブタジエンの合成に成功した。1963 年にパイロットプラントを、1964 年に本工場完成し 1965 年に操業を開始した。このわが国初のシス・ポリブタジエンの評価は高く、何件もの技術輸出が行われた¹⁵⁾。

合成ゴムのタイヤの導入については「乗用車用タイヤ部門では国産最初の合成ゴム製タイヤが完成し、天然ゴム一辺倒のゴム質に新たな光を投げ、トラック・バス用では強力人絹糸を使用することで耐久性が増大した」とある¹³⁾。終戦後の混乱で一時停滞気味であった新製品の開発もゴムの統制時代が終わるころ（昭和 25 年）から徐々に活発化して行った。

横浜ゴムは 1957 年に合成ゴムを配合したタイヤを発表した¹⁴⁾。

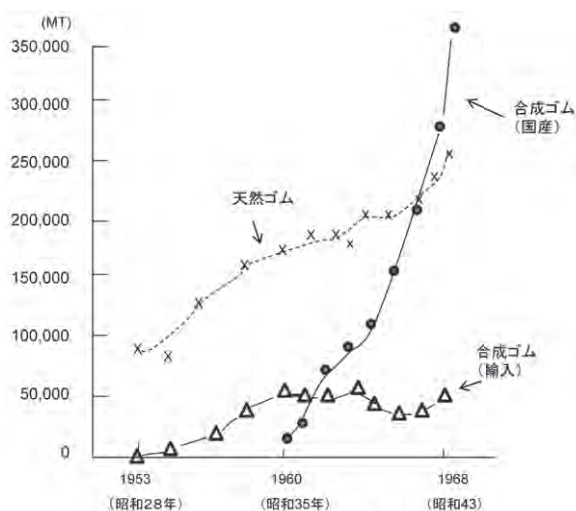


図 5.4 戦後(1953～1968年)の日本の原料ゴム量
(国産) 推移³⁾ (MT は重量トン)

戦後の当時の原料ゴム事情を見てみると図 5.4 のようであるが、原材料の変化がこの時期にいかに急激に起こったかがわかる。とくに昭和 35 年（1960 年）ごろから国産の合成ゴムの使用量が急激に伸びていることがわかる。

以上の戦後の合成ゴムに対する取り組みを見ると、戦前の合成に対する知識、経験があったということと、戦後アメリカの技術を導入しても、日本の中で状況に合わせて発展させる力があったことがその後のわが国のタイヤ工業の基盤となった。

これらの戦前の合成研究が戦後の原料ポリマーの合成技術の進展に役立ったと考えられる。つまりそれまでの経験の蓄積があったことが大いに寄与したといえる。これは近代日本の技術導入の型の一つでもある。

上図からわかるように 1970 年頃までは急速なモータリゼーションの発達にともなってゴムの需要が急速に伸びて行ったが、特に国産の合成ゴムが 1960 年（昭和 35 年）から急速に伸びて行ったことがわかる。これらの合成ゴムの内、約半分がタイヤ用に使われている。

②カーボンブラック

カーボンブラック（カーボンと略す）は 1870 年代、米国の会社が生産した。その後チャンネル法と言う天然ガスからつくる方法が考案され主流を占めていた。第二次大戦時、合成ゴムとともにファーネス法と言う方法が台頭し、原料も天然ガスから、液体の重質油を利用する現在のオイルファーネス法が主流となった。

カーบอนは一種の煤であり、これがゴム中で補強効果を持つということが 20 世紀初頭には見つかっていて、これを補強剤として加えると強度が飛躍的に向上することから補強剤として必須のものとして使われるようになった。

カーบอนは合成ゴムの出現にともなってその補強性の高さからファーネスブラック化していった。

カーボンブラックは炭素によってできている層状物であるが、粒子状であり、粒子の表面とポリマーとが反応して補強効果が現れる（図 5.5 参照）。粒子の大きさが大きいと粒子の表面積が小さいので、補強効果は小さい。一方粒子が小さいほど表面積が大きくなり補強効果は大きくなる。この時期にカーボン粒子径が小さくなって、補強効果が強くなって行った。



カーボンブラックの電子顕微鏡写真（三菱化学㈱提供）

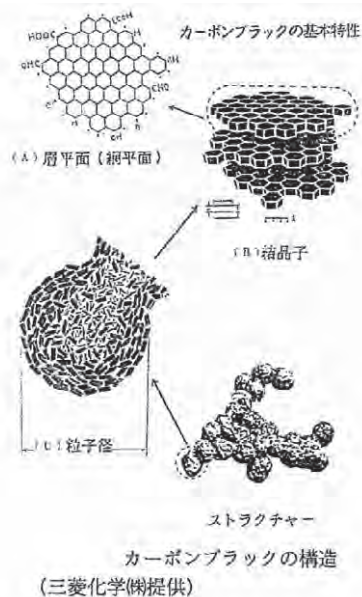


図 5.5 カーボンブラックの形態⁶⁾

カーボンの特性

粒径	大きい	小さい
破断強度	低い	高い
硬さ	低い	高い
耐摩耗性	低い	高い
発熱性 (低い方がよい)	低い	高い

全体的傾向として、路面に接する部分で耐摩耗性を重視するトレッドでは小粒径のカーボンを使用し、内部のコードを被覆するゴムでは発熱性を下げるために、大粒径のカーボンを使う。

結果的にどのようにタイヤ生産量が増えていったかを図 5.6 に示した。この図からわかるように、昭和 30 年から約 30 年間で 50 倍近くに増えていった。いかに戦後急激に増大していったかがわかる。この時期生産量の急激な増大と原材料の急激な変化が押し寄せ、使いこなすのに苦労した時期であった。



図 5.6 日本の自動車生産台数とタイヤ生産量（ゴム量）の推移⁹⁾

(7) チューブレス化の進展

チューブレスタイヤは 1947 年アメリカのグッドリッチ社によって開発されたもので、図 5.7 に示すようにタイヤの内面に空気透過性の少ないゴム層インナーライナーを張り、これがチューブの役目を果たす。チューブレスタイヤは部品が減り、リム着脱が容易になるほか、釘踏みなど比較的小さな傷に対しては空気が急激に抜けないため高速走行時の安全性向上に役立つという特徴を持つ。しかも厄介なチューブを別に造らないでも済む。この画期的技術は日本でも急速に進み、乗用車においては 1970 年代から急速に採用されて 1990 年代にはほとんどチューブレス化した。トラック・バス用では、まだ一部にチューブタイプが残っている。この技術は、インナーライナーに空気透過性の少ないゴム層を貼るということが、キーの技術であるが、後に決定打となったのは、ハロゲン化ブチルゴムの登場であった。従来から空気透過性の低いゴムとして、ブチルゴムが知られており、チューブに使われていた。

しかしブチルゴムは、他のゴムとの共加硫性がないためにタイヤのインナーライナーへ直接貼ることができなかった。1960 年にアメリカで開発されたハロゲン化ブチルは他のゴムとの共加硫が可能になり、直接タイヤのインナーライナー部へ貼ることができるようになり、今日にいたった。現在はハロゲン化ブチルの内、臭素化ブチルが一般的である。

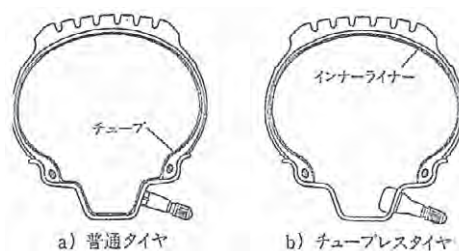


図 5.7 乗用車タイヤの構造比較⁷⁾

引用文献)

- 1) 「横浜護謄 40 年史」横浜護謄製造株式会社 昭和 34 年 1 月 p398
- 2) 「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008 年 5 月 p30
(出典) 世界自動車統計年報第 6 集 2007 年版
- 3) 「ゴム技術ガイドブック」日刊工業新聞社 昭和 48 年 10 月のデータより p26
- 4) 服部六郎:「タイヤの話」大成社平成 4 年 6 月 p106 ~ 112
- 5) 服部六郎:「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p24
- 6) 「ゴム技術入門」日本ゴム協会編 平成 17 年 10 月丸善株式会社 p52
- 7) 平田 靖: 日本ゴム協会誌 68 25 (1995)
- 8) 松井醇一、土井正道、清水寿雄 日本接着協会誌 8 No.1 p26 (1972)
D.I.James 他: Trans.Proc.Inst.Rubber Ind. Vol.39, No3, p103 (1963)
この文献を基に書きなおした。
- 9) 日本自動車タイヤ協会資料 (日本のタイヤ産業 2007 より)
- 10) 「ゴム工業便覧」< 第四版 > 日本ゴム協会編 平成 6 年 1 月 p549 の図を基に書きなおした。
- 11) 「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008 年 5 月 p105
- 12) 「東洋ゴム工業五十年史」東洋ゴム工業株式会社 平成 8 年 3 月 レーヨン 99 ナイロン p117
- 13) 「創立 50 周年ヨコハマゴム」横浜ゴム株式会社 昭和 42 年 10 月 p38
- 14) 「横浜ゴム 80 周年記念 We 特別号」横浜ゴム株式会社 1997 年 10 月 p55
- 15) 「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008 年 5 月 p106
- 16) 「ゴム技術ガイドブック」日刊工業新聞社 昭和 48 年 10 月のデータより p22 ~ p23
- 17) 「ゴム工業便覧」< 第四版 > 日本ゴム協会 平成 6 年 1 月 p467
- 18) 「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008 年 5 月 p83 ~ 87

5.2 2 期 バイアスタイヤからラジアル タイヤへ

5.2.1 構造の変化 製造技術変更の歴史

戦後高度経済成長時代の 1970 年以降代日本ではバイアスタイヤからラジアルタイヤへの変換が急速に進んだ。おそらく戦前、戦後を含めてタイヤ技術の最大の変更であったと思われる。タイヤの構造変更とともに補強材にスチールコードが登場し、製造法、製造設備が一斉に変更になった。性能向上すると共に、あらゆる方向に大変革をもたらした。

スチールコードを補強層に用いたスチールラジアルタイヤはフランスのミシュランによって開発され、乗用車用は 1948 年に、続いて 1953 年にはトラック・バス用が発表された。現在もっとも一般化されたタイヤとなっている。

(1) タイヤ構造の変遷

バイアスタイヤとラジアルタイヤの構造の違いを次の図に示す。バイアスタイヤのカーカスプライはスタレを斜め方向に向けて左右交互に重ねているので、バイアス (斜めの) 構造と呼ばれ、ラジアルタイヤのカーカスプライはタイヤを横から見ると円の中心から外周に向かって放射状に走っているため、ラジアル (放射状の) 構造と呼ばれる。ベルトッドバイアスタイヤは両者の中間のものである (図 5.8 参照)。

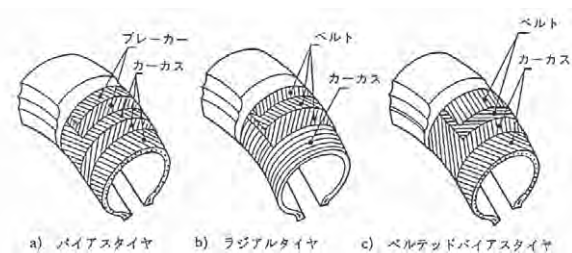


図 5.8 バイアス、ラジアルおよび
ベルトッドバイアスタイヤの構造比較¹⁾

図 5.9 に我が国における各品種別のラジアルタイヤ生産比率の推移を示す。ラジアルタイヤがこのように急激に普及した原因は、高速道路網の拡充・自動車性能向上によりタイヤにも高度な性能が要求され、ラジアルタイヤが持つ高速での操縦安定性 (コーナリングパワーなど)、優れた高速耐久性・耐摩耗性、低燃費性などがユーザーニーズに適合したためである。

一方ラジアルタイヤの欠点は悪路での乗心地の悪さにあったが、この時期のわが国の高速道路網は、急速に伸びて行った (図 5.12 参照) ので道路事情の改善

によりこの欠点はあまり問題ではなくなった。

図5.9から分かるように1990年の段階で乗用車で、2000年の段階ではトラック・小型トラック用でもほぼラジアル化したと言ってよい。

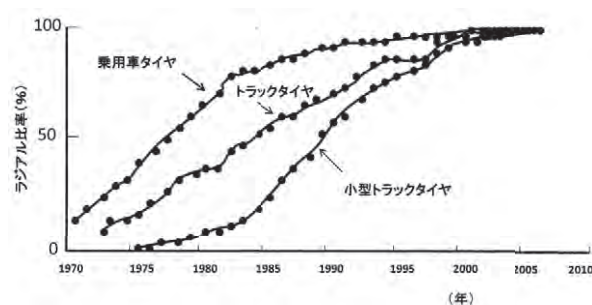


図 5.9 日本タイヤ生産のラジアル比率²⁾

わが国におけるラジアルタイヤの普及は、フランスをはじめとするヨーロッパには遅れたが、アメリカよりむしろ早い時期であった（図 5.10 参照）。

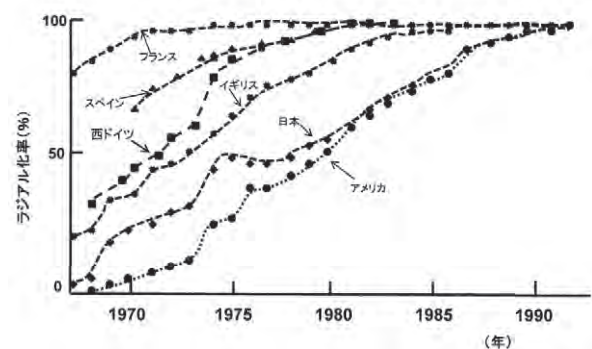


図 5.10 乗用車タイヤのラジアル比率(補修用販売分)³⁾

バイアスからスチールラジアルへの変更については、直接変換して行ったのではなく、ベルトッドバイアスとテキスタイルラジアルという 2 つのタイヤ構造が過渡期的に現われた。

ベルトッドバイアスは設備変更せずにつくるという設備上の問題回避であり、テキスタイルラジアルは、スチールラジアルの乗り心地の悪さという側面があった。設備変更の問題はアメリカに現れ、ベルトッドバイアスが製造された。テキスタイルラジアルは、道路事情が充分でなかった日本などで盛んにつくられた。

当時アメリカでは、将来ベルトッドタイヤが求め続けられるのか、あるいはヨーロッパのように、ラジアルに移行するののかという議論が繰り返されていた。現実にはベルトッドバイアスが深く浸透しており、さらにその需要が伸びる情勢にあった¹²⁾。

その後アメリカでもラジアルタイヤの地位は揺るぎないものになって行った。

バイアスからラジアルへの移行の時期には、一時的にアメリカではベルトッドバイアスになり、またヨーロッパや日本ではテキスタイルラジアルになったが、結局はスチールラジアルに落ち着いた。

設備から考えると、このころは日本は高度経済成長時期に入っていたので、タイヤ各社は新工場を建設して行ったがそれらはラジアル工場化して行った。一方アメリカはモータリゼーションは完成しており、大きな設備変更を伴うバイアスからラジアルタイヤ構造への変更がやや遅れたという状況であったため、妥協策によって乗り越える案を考えたのがベルトッドバイアスであった。

ラジアルタイヤ、バイアスタイヤ、ベルトッドバイアスタイヤの最大の違いはプライ、ブレーカー（ベルト）の枚数、コード角度（下図参照）であるが、これ以外にもコード材質、ビード構造等いろいろある²¹⁾。

	プライ角度(°)	ベルト角度(°)
ラジアルプライタイヤ	70 ～ 90	10 ～ 60
バイアスプライタイヤ	30 ～ 40	30 ～ 40
ベルトッドバイアスタイヤ	30 ～ 40	20 ～ 30

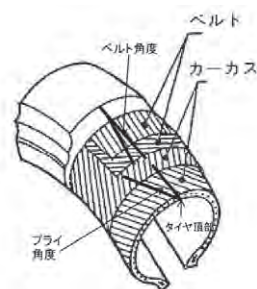


図 5.11 タイヤのプライ / ベルト構造

前述のようにラジアルタイヤは乗り心地に問題があったが高速道路の発達で解消されていった。

また高速走行に対してはバイアスタイヤよりラジアルの方が合っていた。この両面から高速道路の発達がラジアル化と合致していたといえる（図 5.12）。

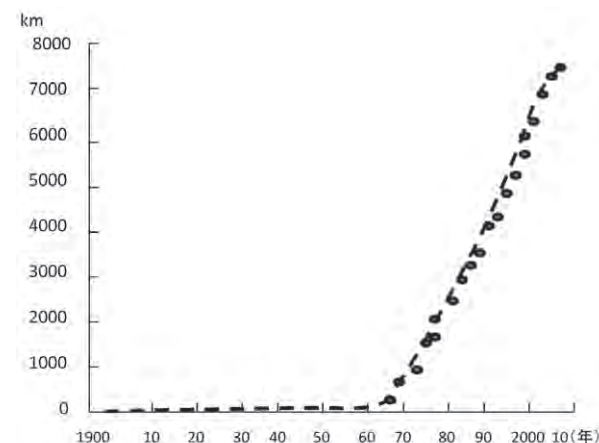


図 5.12 わが国の高速道路延長距離の推移¹¹⁾

(2) 製造法

ラジアル工場ではバイアス工場に対して大きな設備変更をしなかったが、ここで設備を考察する。

製造法製造設備（ラジアル工場）

製造法製造設備を図 5.13 に示した⁴⁾。タイヤ製造については大きく言うと次の 5 工程から成る。

①混合（ゴム原料と種々の配合剤を混合機のなかで混ぜて練る。図 5.14 に混合機を示す）

②押出し（練ったゴムを押し出し機から所定の寸法の形にして押出す）

③圧延（繊維、スチールコードなどの補強材へゴムをトッピングする）

④成形（②と③で用意した部材を貼りつけてタイヤの形にする）

⑤加硫（加熱することにより、製品化する）

この設備構成は基本的には 1970 年代から現在まで変わらない。

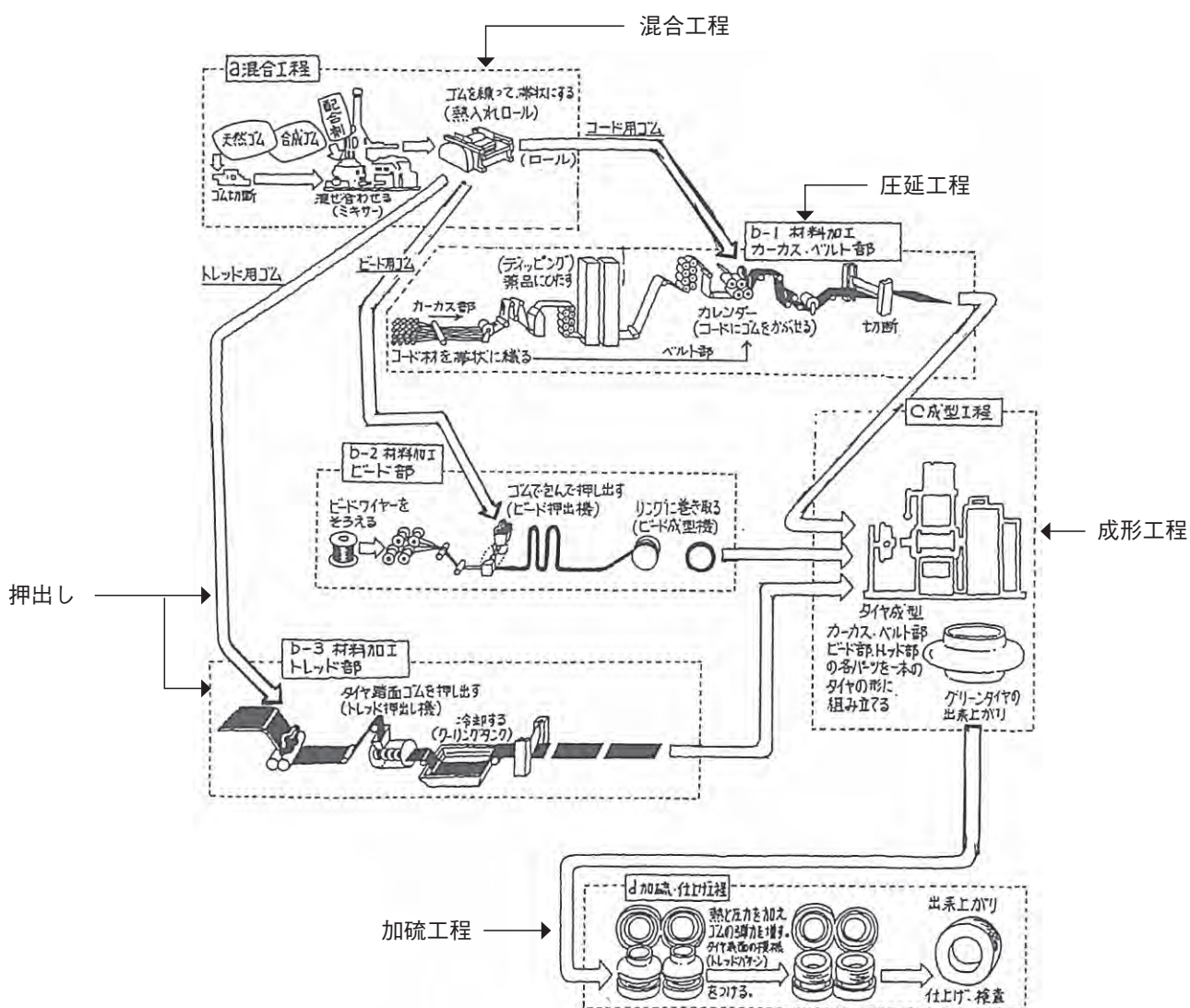


図 5.13 タイヤの製造プロセス⁴⁾

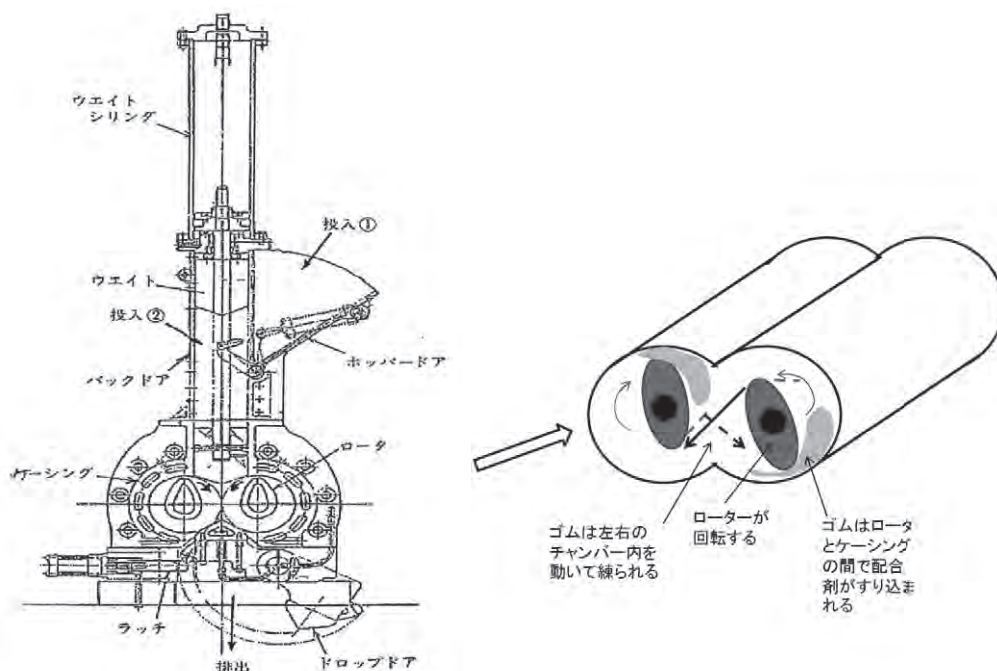


図 5.14 混合機（バンバリーミキサー）⁵⁾ と混合機内部の状態（モデル）

（3）タイヤ製造工程各論

①混合（混練り）

配合表に基づき計量した各種配合剤を混ぜ合わせるという一つにまとまった未加硫ゴムを作る工程である。最終製品の特性を左右する非常に重要な作業である。練り方が悪いと配合材料の分散不良になってしまう。

バンバリー型ミキサーを図 5.14 に示す（参照）。

これらは密閉式混合機という。材料が入るのはミキシングチャンバーと言われる中心の部分である。中に並んでいる 2 本の羽根がついたローターが回転しその隙間とチャンバーの内壁の間でせん断力を受ける。このなかで投入口から投入された、原料ゴム、カーボンブラック等の充填剤が擦り合わされて混合し分散する。ローターに羽根がついているのは材料を万遍なく混ぜるための工夫である⁵⁾。

②押出工程（図 5.15 参照）

トレッド（路面に接する部分）のようなきめられた断面積をもつものは押出工程を通して得られる。混合機で練り上げられたトレッドゴムは、熱入れロールに

より可塑化されて押出機に供給されて、設定されたトレッドの形に押し出されるように口金を通して押し出され、所定の断面形状になる。それから押出生地は冷却され、必要な長さに切断され保管される。

③カレンダー工程（図 5.16 参照）

繊維やワイヤーコードの両面に薄いゴム層を被覆し（トッピング）、プレーカー、ベルトなどの材料をつくるのがカレンダー工程である。スチールコードの場合カレンダー幅に対して必要な数のスチールコードを巻いたクリールをスタンドにセットし、各々のクリールから巻きだされたワイヤーコードを引き揃え、櫛のような間をとおして揃える。其の上にロールでシートにされたゴムが張り付けられる。繊維のカレンダーの場合は繊維コードを並べてあらい横糸をいれたスタレ織りとしてカレンダーにかける。ラジアルタイヤ時代にはスチールコードのカレンダー工程が重要な加工工程として入って来た。

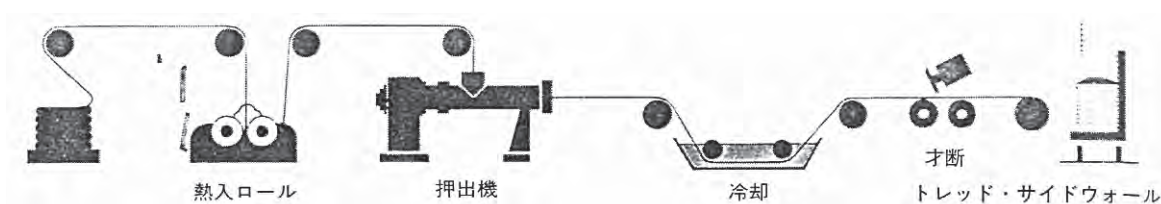


図 5.15 押し出し工程¹⁴⁾

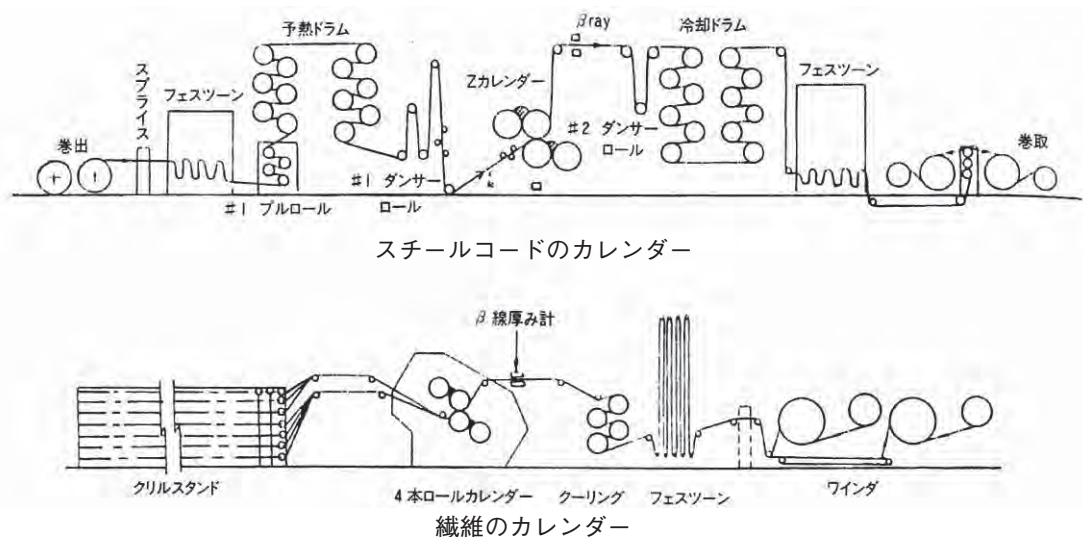


図 5.16 カレンダー工程¹⁵⁾

④成形工程

この工程はバイアスとラジアルで最も異なる。バイアスとラジアルの成形法の違いを次の図 5.17 に示す⁶⁾。

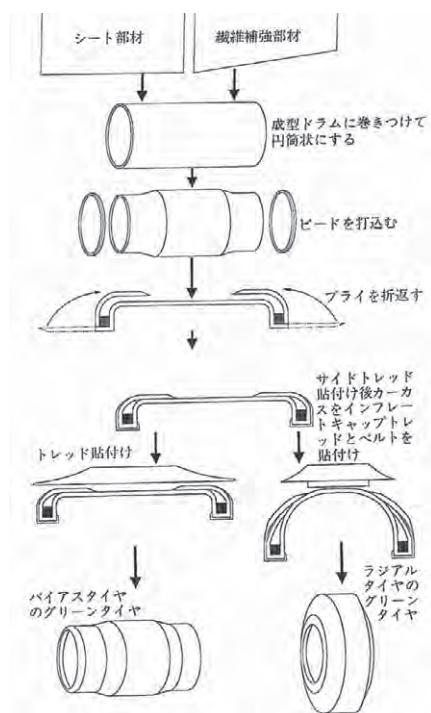


図 5.17 タイヤの成形工程⁶⁾

タイヤの製造では、多くの部材を重ね合わせて、タイヤの形状にして、最後にモールドに入れて、加熱し（加硫）最終製品にする。ラジアル化することで各工程での変更がおこったが最も大きな変更はタイヤの形状にする成形工程である。この加硫（加熱）工程直前の状態がラジアルとバイアスでは異なる（図 5.17 参

照）。この図からバイアスタイヤは加硫前の形状は加硫後の製品の形状とは異なるのに対し、ラジアルタイヤは加硫前の形状は加硫後の製品の形状に近いことがわかる。

⑤加硫工程

この工程もバイアスとラジアルの加硫前の形が異なることから差が大きい。成形工程で出来上がったタイヤ（未加硫タイヤ）はグリーンタイヤと呼ばれる。このタイヤはタイヤモールド中におさまられ内部からの圧力によって、モールドに押し付けられて加硫が進行する。この時モールド表面のトレッドパターンやサイドの模様、刻印文字などが捺印される。それと同時にタイヤは内・外面から蒸気や温水、あるいは気体などの媒体によって加熱され、タイヤ全体にわたって加硫反応が進行し、弾性を持つ加硫ゴムになってタイヤが出来上がる。タイヤの加熱には外側と内側からの両面から行われる。外側はジャケットタイプの熱板を取り付けるかモールドを压力容器内に閉じ込めまわりに蒸気を注入するか二つの方法がある。内面からの加熱にはタイヤ内側に気密性を持つ袋状のもの（加硫プレダーやエヤバックなど）を挿入し、この中に蒸気、温水、気体など圧入する。タイヤの厚さは一様ではなく、各部への熱の供給も一様ではないので、加硫度を一様にするのは難しい。できるだけ過剰な熱をかけないで、ゴムの熱による劣化をしないように加硫を終了するようにすることが重要である。現在 BOM (Bag-O-Matic) プレス（図 5.18 参照）という加硫機がタイヤでは一般的である。

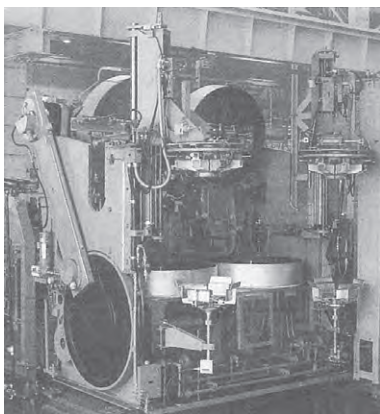


図 5.18 BOM 式加硫機（開いているところ）²⁰⁾

(4) バイアスタイヤとラジアルタイヤの性能比較

①ばね定数¹⁸⁾

タイヤ機能の内、ばねとしての特性とは、タイヤに作用する外力に対して、抵抗力を生じつつ変形し、外力が除去されると元に復する性質であり、通常これを外力とその方向の変形の比をとって「ばね定数」としている。静ばね定数は次の4つがある（図 5.19 参照）。

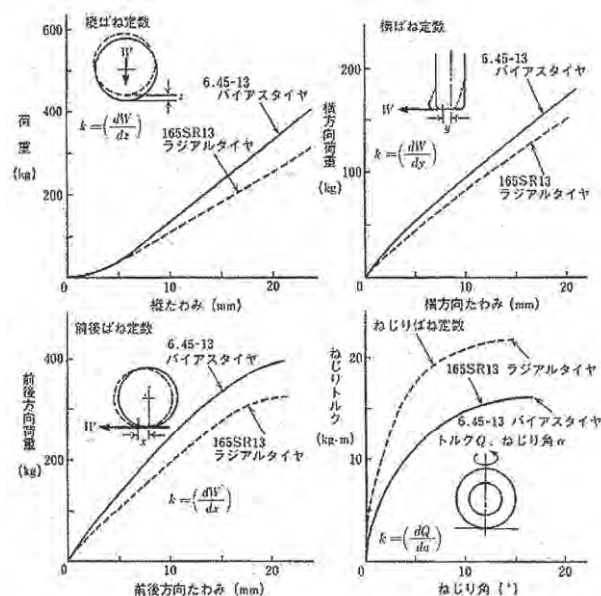


図 5.19 各種静ばね定数の測り方と荷重—変位曲線の例¹⁸⁾

1) 縦ばね定数 (Z 方向)

タイヤの垂直荷重と縦たわみとの関係を求め、その曲線の勾配をもって縦ばね定数とする。このばね定数は、おもにタイヤの振動、乗り心地性に関係している（周波数範囲でおよそ 30Hz 以下）。縦ばね定数が低いほど乗り心地がよい。

2) 横ばね定数 (Y 方向)

タイヤに垂直荷重を与えた状態で、路面を横方向に引っ張ったときの引っ張り力と横変位との関係を求め、この曲線の勾配をもって横ばね定数とする。

このばね定数は、タイヤのコーナリング特性と関係する。

3) 前後ばね定数 (X 方向)

タイヤに垂直荷重を与えた状態で、路面をタイヤ前方に引っ張ったときの引っ張り力と前方変位との関係を求め、この曲線の勾配をもって前後ばね定数とする。このばね定数は、タイヤの前後方向の振動に関係する。

4) ねじりばね定数 (Z 周り)

タイヤに垂直荷重を与えた状態で、タイヤ接地面の中心を回転中心として、路面を接地面内で回転させたときのトルクとねじり角の関係より、この曲線の勾配をもって、ねじりばね定数とする。このばね定数は、タイヤの剛性評価の一指標となっている。この特性でラジアルタイヤはバイアスタイヤより高く、この剛性の高さは、高速走行時代になってラジアル化が効果を発揮したと言える。

ラジアルタイヤ構造ではサイドウォールの剛性が低いこととベルトの剛性が高いため荷重によるトレッド部の可撓性が少なく、全体として偏心をおこすようなたわみ方をする。縦ばね定数の測定は平面にタイヤを押し付けて行うので、ラジアルタイヤのほうが縦ばね定数が低いという結果になるが、剛性の高いベルトのために突起乗り越しでは乗り心地不良となる。

②転がり抵抗

ラジアルタイヤとバイアスタイヤの性能を比較すると応力に対する変形の程度がことなるので変形のための損失の差が現れる。タイヤ全体の変形程度の差は転がり抵抗（燃費に関係）の差として現れる。ラジアルタイヤは変形の仕様が少ないので、転がり抵抗が小さい（燃費性がよい）。図 5.20 に示すように速度に対して転がり抵抗はバイアスタイヤのほうが高く、しかも速度とともに差は大きくなる。また荷重に対しても図 5.21 に示すようにバイアスに比較してラジアルは転がり抵抗が少ないことがわかる。

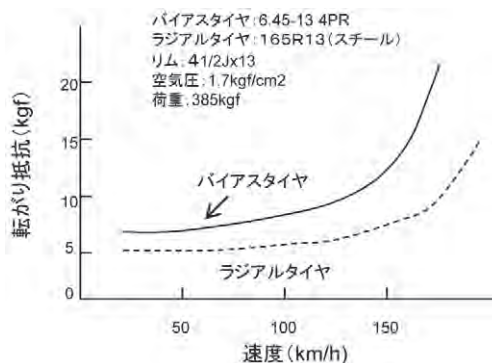


図 5.20 ラジアルタイヤとバイアスタイヤの転がり抵抗⁷⁾

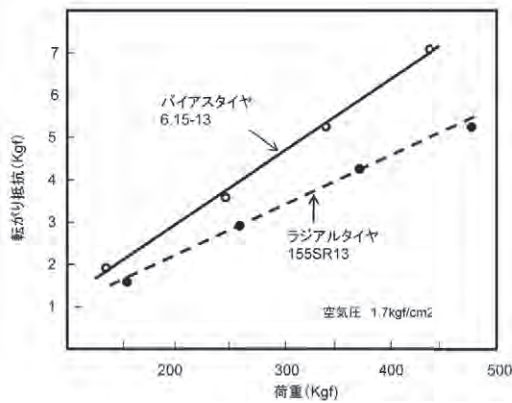


図 5.21 荷重と転がり抵抗⁷⁾

上記のことからも分かるように、両者を比較すると燃費の点でラジアルタイヤが有利であるが燃料（ガソリン）の値段が低かった当時のアメリカではラジカル化がヨーロッパほど早く進まなかったというようなこともあった。

③コーナリング

タイヤの運動性能に関して、制動（ブレーキ性能）と操縦性（コーナリング）があげられる。この中でコーナリング性能について考察する。

横滑りしているタイヤを考えてみる。

図 5.22 で示すように車の運転時ハンドルを右に切った場合、ハンドル操作によって車輪の回転面は車の進行方向に対してある角度をもつことになるが、車は慣性のために直進をつづけようとするから、タイヤの回転面と車の進行方向にずれが起こる。このずれの角度をすべり角とか、スリップアングルとよぶ¹⁶⁾。

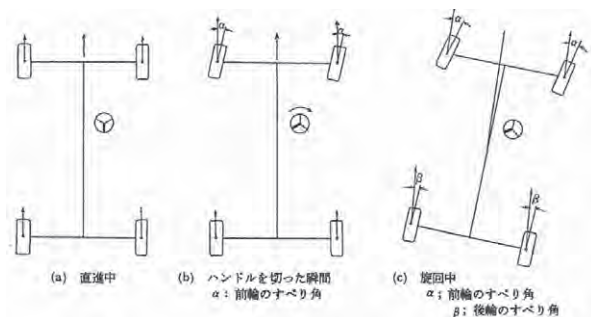


図 5.22 車の運動方向とタイヤの回転方向の関係¹⁶⁾

④コーナリングフォースとセルフアライニングトルク

横滑り時には路面でタイヤ本体との間にねじれが生じるが（図 5.23 参照）、車に及ぼす横向きの力は車の曲線運動を起こさせる力としてコーナリングフォースと呼ぶ。この時もとに戻ろうとする力がセルフアライニングトルクである。

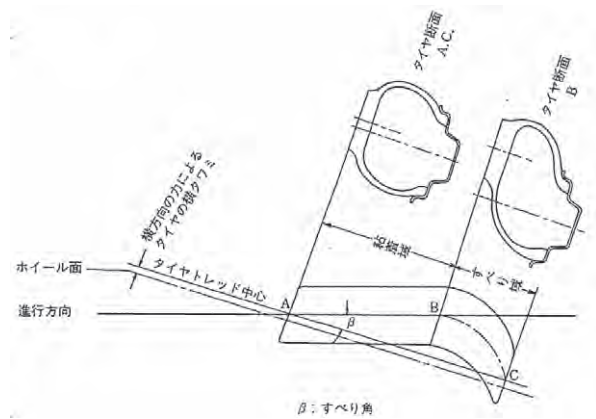


図 5.23 横すべりしているタイヤ¹⁶⁾

⑤操縦性の違い

車が曲がりコーナリングするとき、タイヤには遠心力に対抗するコーナリングフォースが発生する（図 5.24 参照）。コーナリングフォースは、スリップ角の増加とともに直線的に増加し、スリップ角がある値以上になると最大値に近づく。コーナリングフォースに及ぼす最も大きいタイヤ構造要因はトレッド部の曲げ剛性である。ラジアル構造のタイヤは、トレッド部に大きい曲げ剛性を有するベルト層を持っているのでバイアス構造に比べてコーナリングフォースが格段に大きい。コーナリングフォースの直線部分の傾きはコーナリングパワーと呼ばれコーナリング性能を表す特性値としてよく用いられる。ラジアル化が進んだ一原因というのがその操縦性にあるが、次の図 5.25 に示すようにバイアスより、ラジアルのほうがコーナリングパワーが大きいことがわかる。このことからラジアルの方が運転しやすい、操縦性に優れるということがわかる。

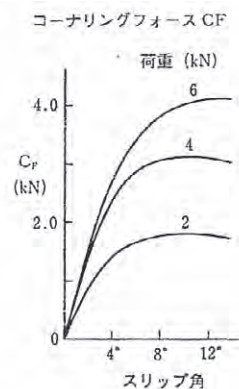


図 5.24 コーナリングフォース¹⁷⁾

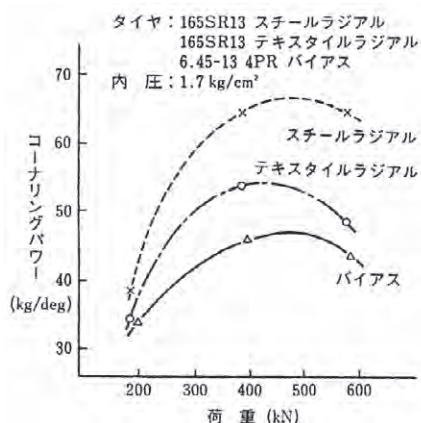


図 5.25 コーナリングパワーとタイヤ構造⁸⁾

以上のようにスチールラジアルタイヤの出現が、自動車の旋回性能と高速直進安定性を飛躍的に向上させ、今日のようなだれもが安心して高速道路での高速走行ができるようになった大きな要因の1つである。

また転がり抵抗に対する寄与率が最も大きいのはトレッド部分（路面に接地する部分）である。この部分は路面に接した時、ラジアル構造の方が動きにくいので消費する仕事量が少ない。このことは路面に接している部分の動きも小さいことを意味し、耐摩耗性もラジアル構造の方が有利である。

⑥タイヤのもつ機能

冒頭にも述べたがタイヤのもつ機能として、次の4つが述べられている。

- ・荷重を負担する（支える）
- ・ばねとしてはたらく（吸収する）
- ・駆動、制動力を伝える（伝達する）
- ・車を操縦しやすくする（曲がる）

これらの機能は、タイヤが車の部品として車と路面との関係を成立させるための必須機能である。しかしラジアルタイヤ化する中でこのような機能はタイヤ開発において、剛性の増大とともに曲がりやすい、伝達しやすいというようなラジアルの特徴とともにはっきりと顕在化して来たと言ってよい。このことは時代が高速走行時代になったということと合致したために浸透して行ったといえる。

5.2.2 材料変更

バイアスタイヤからラジアルタイヤへの変更にとともに材料変更もおこった。

（ポリエステル、スチールコード）

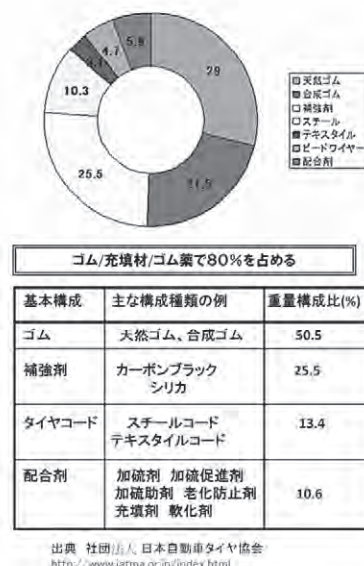


図 5.26 ラジアルタイヤの構成と各部の使用材料

(1) ラジアルタイヤの材料

タイヤの構成を見ると前に示したように（1章の図1.3参照）一般的に10を超えるパーツからなっている。各パーツはそれぞれの機能をもっており、その機能を満足させるように適切な素材を選定して組み合わせ、システム化している。一般的に路面に接地する部分とリムに接しているビード部周辺は硬いゴムを用い、中間のサイドウォール部は軟らかいゴムを使用する。素材はゴムと補強材（タイヤコード）から成っている。図5.26に示したようにゴム種としてゴム原料とカーボンブラックなどの補強剤、配合剤などのゴム種成分で全体の中で80%以上を占めている。

(2) 各パーツのゴム

①トレッド及びサイドウォール

トレッドゴム（路面に接する部分）はタイヤにかかる力を路面に伝える役目を担っている。圧力容器であるカーカス本体を破壊しないように路面から守ることにある、タイヤ各部に使用されるゴムでは機械的な外力に堪えなければならない。ゴム質としては、強力、引裂力が高く、耐摩耗性に優れていなければならない。そこで天然ゴム、SBR、BRをブレンドポリマーとして選び、それに粒度の細かい補強性の高いカーボンを配合したものが一般的なゴム質として使用されるようになった。しかし粒度の細かいカーボンは補強性は高いが、ポリマーの運動性を拘束することによって、発熱が高くなるので後に、燃費性とは背反現象となって、大きなテーマとなって行く。

天然ゴムの性能バランスは高く、特にその低発熱性は、合成ゴムを凌駕しており、現在でもトラック・バ

ス用のタイヤ、建設機械用、航空機タイヤなどの走行時に発熱が高くなるタイヤにおいては天然ゴムが主体的に使用されている。

一方乗用車タイヤはSBRの量が増えていったがSBRそのものは加工性が困難であり、油展（ポリマー製造時にオイルを含ませる）SBRを用いるのが標準になっていった。加工性改善のためのオイルを加えるコンパウンドにおいてはこの方法が有効であった。油展SBRは1950年にアメリカのジェネラル・タイヤが特許化したものであるが、その後世界中で使用された。

このようにSBRは乗用車用ゴムのようなタイヤトレッドには最適化技術となったが、トラック・バスなどの重荷重車両用としては天然ゴムに一步譲る。

サイドウォールについては、地面には接地しないが繰り返し屈曲を受けるので、その耐疲労性が必要であって、一般的にはNR/BR系のポリマーにソフトカーボンが用いられる。しかも日光に暴露されるので老化防止剤が多く配合される。以上のようにサイドウォールの要求性能は耐屈曲性、耐疲労性、耐老化性、耐オゾン性が必要特性である。

②カーカスゴム

カーカスゴムは使用されるコードとの接着がよく、低発熱で繰り返しせん断応力に堪えるものでなければならない。接着性に対しても発熱性に対しても天然ゴムが有利であるので主体的に使われる。

③ベルトゴム

ベルトゴムは補強材であるスチールコードを被覆するゴムであり、主として天然ゴムを用いる。このゴムはスチールコードとの接着性と耐老化性が要求される。この接着性と耐老化性については、次章の6.1で詳細に述べる。

④ビード部のゴム

タイヤとリムを嵌合させるためビード部には鋼線が入っているのでそのコード表面のメッキとゴムを接着させなければならない。またこの部分は固めておく必要があるため、一般的にはカーボン多量で且発熱性、接着性を考慮して天然系である場合が多い。

⑤チューブレスタイヤのインナライナー

タイヤの空気圧を安定に保つためハロゲン化ブチルを使うことによって解決された(第5章5.1で述べた)。

(3) 補強材

バイアスからラジアルへの変更は単に構造の変更だけではなく、使用する素材の変更も合体して非常に短期間に行われた。それは特に補強材に現れ、綿、レーヨン、ナイロンと変わってきた補強材がラジアル化に

よって、ベルトはスチール、カーカスはポリエステル(乗用車)に代わった。トラック・バス用は、最終的にはベルトもカーカスもスチールになった。

さらに乗用車用ではスチールコードのベルトの上にさらに繊維の補強層(カバー材)を巻くようになったが、これに使われるのはナイロンが多く、一部でアラミド繊維も用いられた。各種繊維の引張り強さと伸びの関係を図5.27に示した。

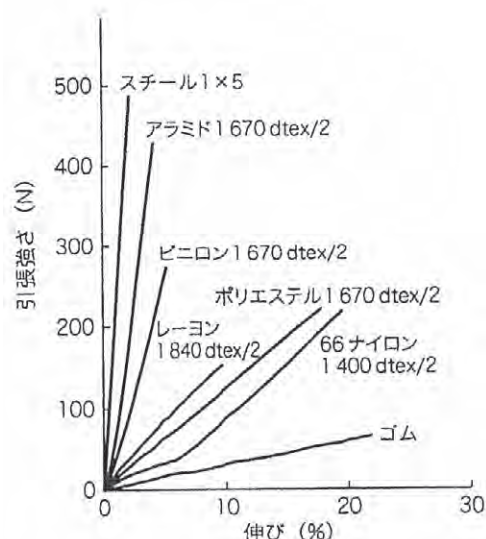


図 5.27 各種コードの引張り特性¹³⁾

以上のようにバイアスからラジアルへの変更は構造変更と材料変更が合体した大きな変更となって行った。

①ポリエステルの乗用車用タイヤへのカーカスへの展開

ポリエステルは性格としてはナイロンとレーヨンの間にあり、ナイロンコードが持つ種々の欠点特に乗用車用タイヤのような小型タイヤに使った場合のフラットスポット(走行後止まっている間にタイヤが冷えると路面が一時フラットになる)や寸法安定性や操縦性の不足などに対してよい性能を持っている。つまり硬さから言えばレーヨン寄りの特性を持っている。価格に関してもレーヨンより安いのでレーヨンを駆逐してしまったと言ってよい。しかし現在にいたるまで、一部高度な操縦性を要求される高級タイヤにおいては高級レーヨンが使用されて残っている。

ポリエステルの欠点は撚りによる強力低下がナイロンやレーヨンより大きく、またゴムとの接着がナイロンやレーヨンより難しいことである。一般的に用いられているRFL接着剤の塗布前にプライマー的な前処理が必要と言うような二段処理が必要である。

それゆえプライ間のせん断力の大きいトラック・バ

ス用には用いられず、乗用車のカーカスに使用された。この繊維は自身が発熱しやすいので、ゴム部材を劣化させやすいだけでなく、ポリエステル自体のエステル結合が加水分解して強度の低下を生じる。

②アラミドコード

重量あたりの強度がナイロンの2倍、弾性率がやく8倍という発表されたとき夢の繊維ということであった。構造は芳香族ポリアミドである、値段が高いことと繰り返し圧縮ひずみに弱い（フィブリル化という）、ゴムとの接着が難しいと言う欠点がある。したがって主要補強材ということにはなっていない。

③スチールコード

スチールコードの線材は高炭素鋼（0.7%程度）であり、線材を何度もダイスを通して細い素線にする。この間に硬化して行くので、中間で一度熱処理し、調質し、その後の伸線を可能にする、ダイスとの潤滑効果を持たせるため、真鍮のメッキを施す。タイヤを製造時に加硫工程で熱をかけられるが、この工程でゴムとメッキとの反応によってコードとゴムを接着させる。つまり真鍮めっきはスチールコードとゴムの接着剤として働くばかりでなく、コード製造時にはコードとダイスの間の摩擦に対する潤滑剤として働く。それから最終段階の線引をして素線を仕上げる。素線は細い方は0.15mmから太い方で0.38mmぐらいまでである。この素線を撚り合わせてコードにするのである。使用されるスチールコードはタイヤによって異なるが、複雑な構造になるほど撚り工程が増え、コストも高くなる。つまりスチールコードでは素線を細く、多数撚り合わせる方が耐屈曲疲労によいが、工程が複雑になり、値段も高くなるので、簡単な構造のコードになって行ったのである。このメッキ方法や伸線、撚りなどの技術は発達に欠かせないものであって、ラジアルタイヤの発達に同期して大いに研究され、開発された。

日本のスチールコードは世界トップのレベルになり、鋼線の不純物が少ないことにより、伸線工程における断線が少ないなどの性能が高く評価されていった。

(4) コード/ゴム複合化

①スチールコードの構造例

乗用車用・トラック・バス用スチールコードの構造（撚り構造）は図5.28に示すような構造（単撚り、2層撚り、3層撚り）からなっている。さらに複撚りという大型タイヤ用の構造もある。これらの構造から分かるように単層構造は2～5本のフィラメントを撚り合わせたもので、乗用車用タイヤに多く使われている。2層撚り構造はまず2～3本撚り上げたものを芯とし、

その上に6～9本のフィラメントを撚り合わせるもので、主としてトラック・バス用に用いられている。3層撚りは2層撚りを芯として14～15本のフィラメントを撚り合わせたもので、トラック・バス用から建設車両に至る大型タイヤに多く用いられる。

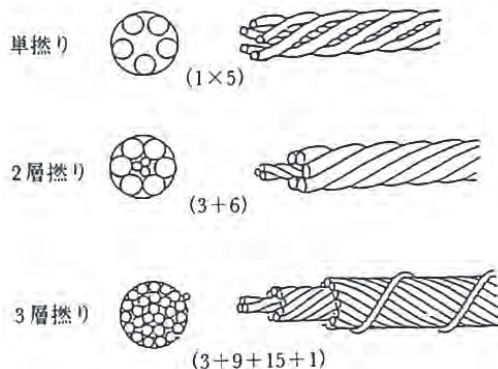


図 5.28 乗用車用、トラック・バス用スチールコードの基本構造⁹⁾

タイヤ用スチールコードは図5.29に見られるように乗用車用スチールコードとトラック・バス用とはコード構造が大きくことなる。トラック・バス用のような荷重の大きいタイヤではより太い構造のものが使われている。建設用タイヤになると更に強度の高いコードが用いられる。これらのスチールコードはタイヤの大きさや使われる部位によって使い分けられる。

乗用専用スチールコード断面		トラック・バス用スチールコード断面	
1 × 2		3 + 6	
1 × 4		3 + 9 + 1	
2 + 2		12CC + 1	
2 + 7 + 1		3 + 9 + 15 + 1	

図 5.29 タイヤ用スチールコード構造（断面）例⁹⁾

(5) 戦後のタイヤコードの変遷とラジアル化

次の図5.30には戦後の1960年代から2000年までのタイヤコードの使用変遷を示した。この結果から分かるように1960年代までにレーヨンがナイロンへ置き換わり、1970年代以降にはラジアル化に伴って、スチールコードとポリエステルに代わっていったことから、短時間の内に大きく変わっていったことが分かる。

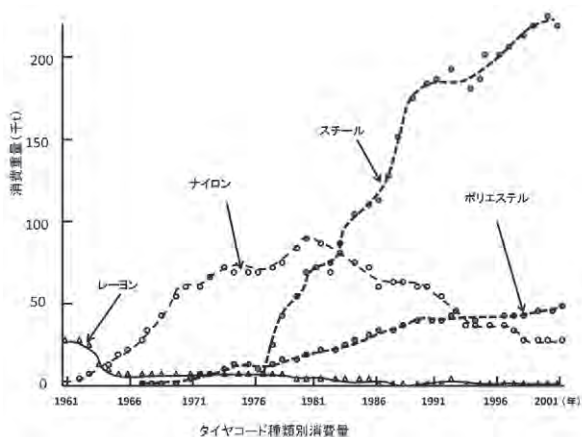


図 5.30 タイヤコード種類別消費量¹⁰⁾

図 5.31 には、アメリカにおけるタイヤコード使用量の変遷を示した。日本とアメリカの両者を比較するとレーヨンの使用低下とナイロンの使用開始時期が異なり、日本の方が 10 年くらい遅く起こっている。ポリエステルへの立ち上がりも日本はアメリカに遅れている。スチールコードの立ち上がりは両者であまり変わらないことから、日本では乗用車のスチールラジアル化に伴って、カーカスにポリエステルを使用するという仕様とともに発展したと言える¹⁹⁾。

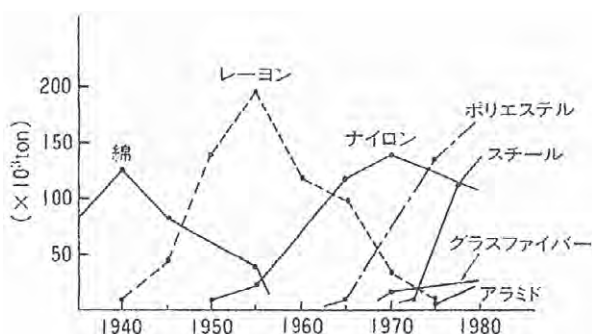


図 5.31 アメリカにおけるタイヤコード使用量の変遷¹⁹⁾

このように短期の内にラジアル化に伴ってコードの大変更が起こったのである。

引用文献)

- 1) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p6
- 2) 渡邊徹郎：「タイヤのおはなし」日本規格協会 2002 年 10 月 p35
日本自動車タイヤ協会発行の資料日本自動車タイヤ協会発行の資料に最近のデータを加えて書きなおした。
- 3) 渡邊徹郎：「タイヤのおはなし」日本規格協会 2002 年 10 月 p36 の図 1.19 (b) と平田靖「タイ

ヤの変遷について」日本ゴム協会誌 68 p25 (1995) 図 7 を組み合わせて書きなおした。

- 4) 「ゴム技術入門」日本ゴム協会編 丸善 平成 17 年 10 月 p8
- 5) 「ゴム工業便覧」＜第四版＞日本ゴム協会編 平成 6 年 1 月 p1073
- 6) 「ゴム工業便覧」＜第四版＞日本ゴム協会編 平成 6 年 1 月 p747
- 7) 「ゴム工業便覧」＜第四版＞日本ゴム協会編 平成 6 年 1 月 p750
上野一海：自動車技術、Vol. 34, No10, (1960) より書き換え
- 8) 「自動車用タイヤの研究」横浜ゴム株式会社編 平成 7 年 4 月 p138
自動車工学全書、第 12 巻 タイヤ、ブレーキ 山海堂
- 9) 「ゴム工業便覧」＜第四版＞日本ゴム協会編 平成 6 年 1 月 p557-558
図 2.5 および表 2.1 から断面構造だけ書き直した
- 10) 渡邊徹郎：「タイヤのおはなし」日本規格協会 2002 年 10 月 p83
この図と「ゴム工業便覧」＜第四版＞日本ゴム協会 平成 6 年 1 月 p549 の 2 つの図を合わせて書きなおした。
- 11) 国土交通省「道路統計年報」から図にした。(「ブリジストン七十五年史」p221 参照)
- 12) 「住友ゴム百年史」住友ゴム工業株式会社 2009 年 12 月 p176
- 13) 渡邊徹郎：「タイヤのおはなし」日本規格協会 2002 年 10 月 p81
- 14) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p126
- 15) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p124
- 16) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p58 ~ 59
- 17) 「自動車用タイヤの研究」横浜ゴム株式会社編 平成 7 年 4 月 p130
- 18) 「自動車用タイヤの研究」横浜ゴム株式会社編 平成 7 年 4 月 p29 ~ 30
- 19) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p106
- 20) 「ゴム工業便覧」＜第四版＞日本ゴム協会編 平成 6 年 1 月 p1118
- 21) 「ゴム工業便覧」＜第四版＞日本ゴム協会編 平成 6 年 1 月 p739

6 ラジアルタイヤの成熟化時代

6.1 耐久性の時代 —耐久性の時代のラジアルタイヤの成熟化時代

ラジアル構造になったタイヤでも基本的性能は耐久性である。タイヤは寿命を全うしなければならない。そこでラジアル構造での構造変更による耐久性をまず達成しておくことが求められた。とくにラジアルタイヤ初期の時代は耐久性に関してスチールコードとゴムの接着のような大きな問題が発生したが時代の進展とともに克服していった。

6.1.1 タイヤの破壊

タイヤは機械的なひずみと発生する熱による両者の作用によって新品当時もっていた強度が低下して行く。その程度もタイヤの使われ方によって異なり、大きな衝撃やたわみを受ける不整地、非舗装路上から、高速道路上などでの速度は早いがカーブや発進停止は少なく路上の障害物もないといった条件までである。タイヤは残存している強さを超えるような異常な入力がかかれば破壊してしまう。タイヤを構成するゴムが走行中にその値に達しないようにしておかなければならない。したがって、ゴム質の強度の低下を起こしにくくしておく必要がある。そのためには、構造的にも局部的に発熱しないような構造が必要である。

(1) ひずみ考察¹⁾

タイヤのひずみは内圧を張ったために発生するひずみ（静的）と荷重を支えながら路面上を転動してゆくことによるひずみ（動的）に分けられる。

①静的ひずみ

ラジアルタイヤにおいて、内圧を張ることによって起こるひずみの発生はバイアス・ラジアルなどのタイヤ構造で異なる。現在一般に使われているラジアル構造では、カーカスのコードはタイヤ平面について放射状の道筋であり、そのひずみはどこでもほぼ一定であるが、クラウン部ではベルトのタガ作用の影響でひずみが若干減少する。ベルトコードについては、クラウンセンターのひずみが最大で、ショルダー部では自由端になっているのでひずみゼロとなる。これに対して面内の変形に対応するせん断ひずみはコードの端でもっとも大きい。ラジアルタイヤのベルト末端に起こるせん断ひずみはこの部分のセパレーション故障（ゴム切れにより相間が剥離する故障）の発生に関係して

いる。特に高荷重で走行するトラック・バスタイヤのベルト端なども同様なひずみの点で破壊要素となる。（図 6.1 図 6.2 参照）。

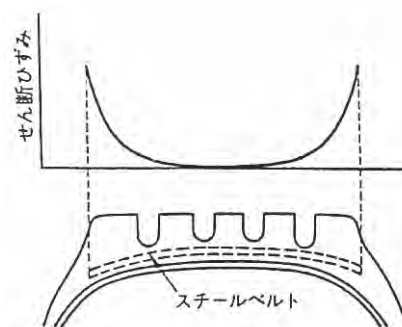


図 6.1 ラジアルタイヤのベルト層せん断ひずみ¹⁾
（ベルト縁部で最も大きくなる）

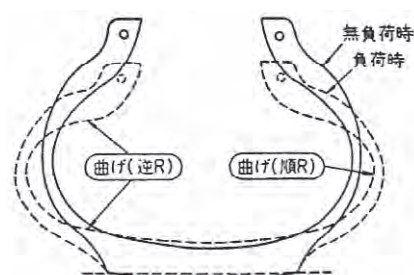


図 6.2 タイヤの負荷時の変形¹⁾

②動的なひずみ¹⁾

タイヤに荷重をかけ転動させると接地部分ではもとと円環体だったタイヤが平面の上に押し付けられるため、タイヤ断面方向に見ても、円周方向から見てもタイヤ壁の曲率が変化し、曲げひずみがおこる。つまり内圧をかけた状態から変化する。図 6.2 の断面の変形図によれば、サイド部（わきの部分）では曲げの曲率 R を小さくする方向に曲げがかかるがそれ以外の場所（クラウン部、バットレス部、ビード部）では、現状の R を大きくする方向に曲げられる。

円周方向においても接地面の始まりと終わりでは路面に押され R を小さくするような変形が起こっている。このような曲げひずみは当然コード・ゴムの伸張・圧縮ひずみにおけると同様にベルト端、ビード折り返し端などに集中的なひずみが発生する。さらにスチールコードとゴムの境界層にも接着力に影響するミクロなひずみが起こる。

タイヤにはたらく縦・横の外力すなわち駆・制動力・コーナリング力などによってもひずみは生じるが、特

に横力の影響は大きい。図6.3はその状況を表しており、ラジアルタイヤのベルトが横力による面内の曲げを起こし、外側には伸張ひずみが、内側には圧縮ひずみが付加されている。このようなラジアルタイヤのベルト縁では内圧充填によるひずみ、負荷時のひずみ、横力によるひずみが重ね合わされて、過酷な状況になる。

この図6.3から分かるように特に横変形したとき荷重直下の圧縮ひずみと伸張ひずみが発生する。このことはベルト部のようにその末端においてスチールコードがゴム中に存在する状況では亀裂が発生しやすくなることを意味する。

ラジアルタイヤのベルト端においては、内圧充填によるひずみ、負荷時のひずみ、横力によるひずみが重なって、過酷な状況に曝される（図6.4参照）。つまりラジアルタイヤのベルト端部のひずみの緩和はセパレーションを防止するための耐久性上重要である。

以上のようにラジアル化と同時にスチールコードのような構成の高い補強材の端部でのセパレーション防止が需要課題になってきた。

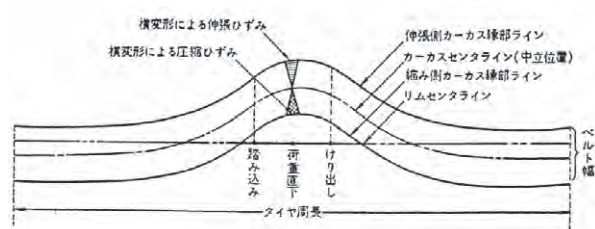


図6.3 ラジアルタイヤのベルト展開図に見る横変形とそれによるベルト縁部の伸張、圧縮ひずみ¹⁾

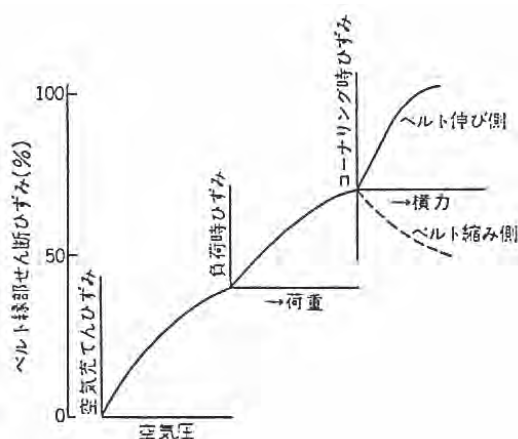


図6.4 コーナリング時に発生するベルト縁部せん断ひずみ¹⁾

6.1.2 ラジアル化の時代の耐久性

ラジアルタイヤ時代の耐久性に影響する因子を考えると、面から見ると、構造がバイアスからラジアルに変わったということと、ベルト材としてスチール

コードを使用することになったという重要な変化があった。（もちろん繊維を用いたテキスタイルラジアルも一時製造されたが、次第にスチールラジアルが主流になっていった）。

ラジアルタイヤのベルト部分にスチールコードを使用するということは、スチールコードを被覆しているベルト部のゴムとの硬さの違い、(ヤング率で4桁)によりゴム層とおよびスチールコードとの境界層で応力集中による破壊が特に上に述べたベルト末端で進みやすいことにもつながる（表6.1参照）。耐久性は破壊現象に基づくものであり、弱い微小な欠陥があるとそこを起点にして破壊が拡大していき、大規模な破壊に発展するというようなケースが多い。特にベルト層末端では自由端末ゆえに亀裂が入ることが起きやすい（エッジセパレーション）。そこでスチールコード周辺の破壊に耐えることが重要な基本性能として要求されていた。

表6.1 各種物質のヤング弾性率の比較¹⁷⁾

各種物質のヤング弾性率の比較	
単位 N/m ² (ニュートン毎平方メートル) (10・7倍するとほぼkgf/mm ² となる)	
物質	Ex10 ¹⁰
鉄	20~22
銅	13
アルミニウム	7
鉛	1.6
木材(かし)	1.3
ガラス	7~8
ポリスチレン	0.38
ナイロン66	0.36
ポリエチレン	0.076
弾性ゴム	(1.5~5.0)×10 ⁻⁴

スチールコードを用いることによる耐久性は、被覆ゴムが応力集中に耐える耐久性を持つことと、スチールコードとゴムの接着性に優れているということに懸っていた。

そこでこのゴムの耐久性とスチールコードとゴムの接着の耐久性について述べる。一般には、ゴム質が走行とともに疲労劣化、熱劣化して強度が下がって行き、その状態に大きなひずみを与えられればゴム層が壊れてタイヤの破壊に至る。

(1) ゴム層の老化による破壊

スチールコードを被覆しているゴムは、一般のゴムと異なっており、硫黄量が多い。一般のゴムが原料ゴム、例えば天然ゴムに対して1~2部(phr)なのに対して、被覆ゴムはスチールコードとの接着のため

3～6部と多量配合するのである。硫黄多量配合がスチールコードとの接着に有利だからである。しかし硫黄量が多くなるほどゴムの老化は速くなる。また曝される温度が高いほど、老化の速度は速くなる。現在のようにグローバル化が進むと、世界中で同じタイヤが使われることが起こり得るので、暑い国から寒い国まで使用温度幅は昔に比べれば、大幅に増大している。高温地域は老化、劣化は速くなることになる。一般的にはゴムは老化すると、硬くなり、破断伸びが低下する。破断伸びの低下が大きければ、変形に追従することができなくなり、タイヤは破壊する。この意味でゴムは使用時にどの程度硬くなってどの程度伸びが低下したかというのが耐久性上重要である。とくに硫黄多量配合において重要である。

この関係は最近よく研究されている。次の図 6.5 は老化ゴムの状況を示したものである。

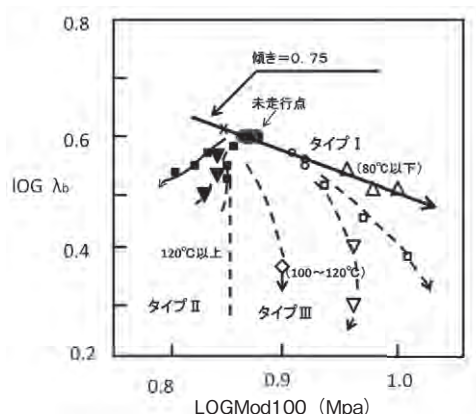


図 6.5 ゴムの老化時の物性変化 (Modulus ; 100% Mod.) と破断伸び ; λ_b) の関係²⁾

この図の縦軸はゴムの破断伸びの対数 ($\log \lambda_b$) で横軸は硬さ Mod (100% Mod) の対数である (Ahagon プロット)。一般的に処理時間とともに直線的に低下して行くが処理温度が 80℃ 以下であれば、-0.75 の線を動くことが分かっている (図中 Type I)。これは架橋が進行すると硬くなって破断伸びが下がるということを示している。また処理温度が高くなると直線の傾斜が大きくなる (図中 Type III)。Type III は曝される温度が 80℃ を超え 120℃ までの範囲である。この領域は硬さは上昇しないのに破断伸びが低下してくるという線である。これは架橋が進行するということ以上に伸びが下がるということであり、ポリマー主鎖の切断が起こっているということを示している。つまり Mod 変化の割に破断伸びの低下が大きくなる。ゴムに配合する硫黄量が増えると老化が速くなり、結果的には直線上の低下速度が速くなる。ある破断伸び

以下まで下がるとタイヤが破壊する率が高くなる。したがって硫黄多量配合下でいかに緩慢に変化させるかが重要であり各社配合上の工夫をしている。図 6.6 は、市場での実車の結果である。ここでは実際に伸びの対数と Mod の対数が -0.75 に乗っている。走行タイヤもスペアタイヤ (走行なし) も同じ線上にあって、熱の効果が大きいことがわかる³⁾。この手法は実験室の材料でも、実車タイヤからゴムを取り出しても測定可能なゴム層の耐久評価法として近年進歩してきた。なお Type II はさらに高温の場合である。

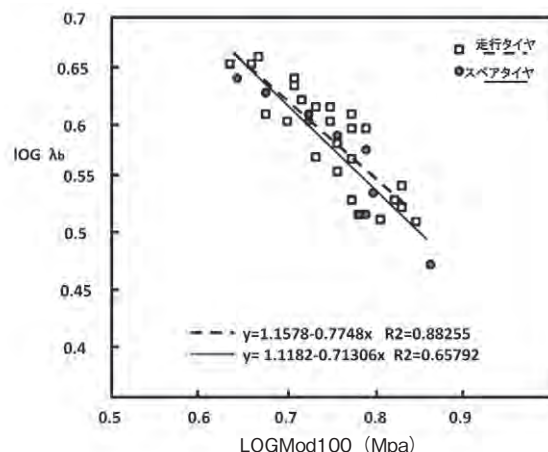


図 6.6 市場走行における物性変化³⁾

6.1.3 スチールコードとゴムの接着劣化による耐久性低下

繊維 / ゴム、スチールコード / ゴム のように複合材の異質材料間の接着不良によるタイヤの破壊は重大問題となって来た。

この場合、破壊の起点になる部分は、接着界面における接着反応層のような極く体積的に小さい部分の性質に依存してしまうので、現象は不連続的に起こり、一旦起こった場合には大きなダメージに至ってしまう。走行とともに、接着界面の接着剤層、反応層が劣化して弱くなり、ある時点で破壊に至る。この劣化に対する刺激としては、熱、水分、また両者の組み合わせがある。

スチールコードとゴムは表面の真鍮 (銅 Cu と亜鉛 Zn の合金) めっきによって接着する。タイヤ加硫 (加熱) 時にめっき中の Cu とゴム中に配合されている硫黄 S (硫黄を含んだ中間生成物も併せて)、とが化学反応し、硫化銅 Cu_xS (x は 1～2 ; 硫化第二銅もしくは硫化第一銅である)、硫化亜鉛 (ZnS)、酸化亜鉛 (ZnO) などを生成しながら S がゴム分子とも結合し、スチールとゴムの接着が形成される。

Cu の比率が高いものやめっきが厚いものでは、水分が存在すると Cu_xS 、ZnS、ZnO の生成が促進されて、

もろい反応生成物の層が厚くなるために接着が阻害されるとされている。めっきの反応性は初期（加硫直後）の評価と使用中に水分が侵入してきたときとは、最適反応性が異なっており、初期接着ではCuの濃度が70%付近になるが、水分が存在すると65～63%ぐらいに低Cuになったほうが良好であるということが分かって来た。接着の破壊は図6.7に示した接着界面モデルのように反応層が厚くなると層中破壊が多くなる。

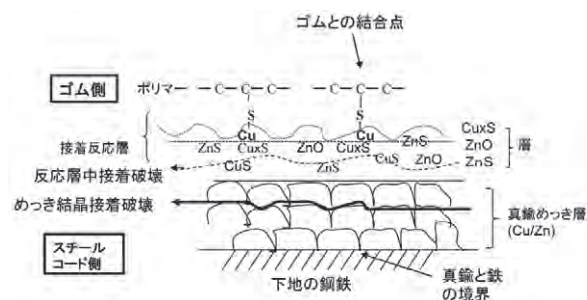


図 6.7 接着界面モデル図

この図は van Ooij⁴⁷⁾ 森 邦 夫¹⁰⁾、Pankaj⁹⁾、Lievens⁸⁾、石川⁵⁶⁾らの説の妥当と思われるモデルを合体したものである。この図に示すように接着反応層中に破壊する可能性のある場所は複数あり、使用条件によって破壊場所は異なる。

接着破壊による市場問題について渡邊によれば、1973年から1976年ごろにわたって、世界中で多くのタイヤ会社が乗用車スチールラジアルの接着不良に起因するベルトセパレーション（ベルト部分のはく離）問題をおこしたが、接着不良の主犯はゴム中の接着助剤ではないかと考えた。接着助剤としては、コバルトCo脂肪酸塩系とRHS系（R：レゾルシン、H：ヘキサメチレンテトラミン、場合によってS：シリカも配合）の2系統が用いられていたが、実際に問題を起こした銘柄にはRHS系のほうが多かったためにこれが主因と考えられた。その後のデータを勘案して、めっきの反応性が高すぎたことが主犯であり、接着助剤は高々従犯であったとのことである¹⁶⁾。確かに当時の真鍮めっき中のCu/Zn比はCuは70%ぐらいであり、現在の63～64%に比べれば、反応性は明らかに高かった。

この場合上の図6.7中、反応性が高すぎることによって反応層が厚く生成し、反応層中で破壊する場合とめっき中で破壊するという両面が考えられる。このスチールラジアルタイヤに関する深刻な問題は、多くの努力によりほとんど解決している。

一般にスチールラジアルタイヤではベルトのエッジ部から破壊が進行するケースが多いが、その進行方向をよく見られる方向を図6.8に示した。ベルトエッジ部（スチールコードの端末）で破壊が始まって成長して行く。

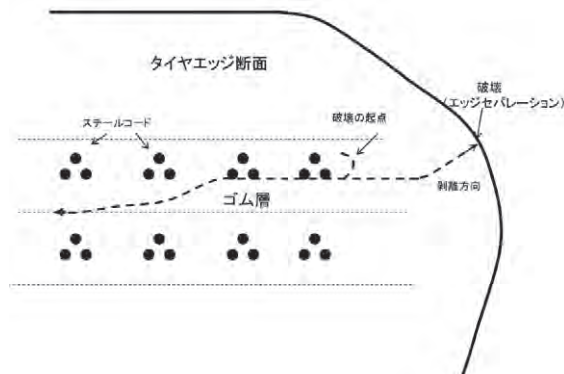


図 6.8 ベルトエッジ部の破壊モデル

6.1.4 有機繊維コードの接着と疲労劣化

乗用車用ラジアルタイヤとしてはベルト部にはスチールコードが、カーカス部には多くの場合ポリエステル、レーヨンが使用される。また最近ではベルトのカバー材としてナイロンがよく使われる。重荷重（トラック・バス）用ではベルト、カーカスともスチールコードを使用するのが普通である。

カーカスの接着

ポリエステル

この繊維は表面の化学反応性が弱く、RFLによる接着が不充分であるので、①表面をエポキシ処理した後にRFL処理をする2浴法と②RFL液の中にポリエステル表面層に溶け込む特殊な接着剤を添加する1浴処理のいずれかの方法をとっている（図6.9参照）。

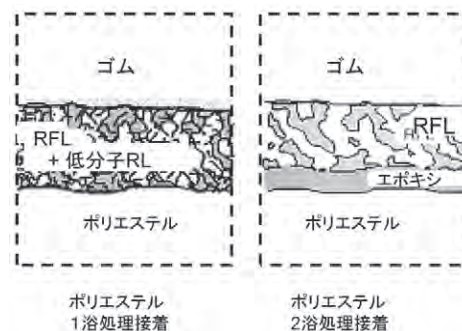


図 6.9 接着のメカニズムモデル¹¹⁾

6.1.5 ベルト周辺以外の劣化

ベルト部以外の部分のゴムの疲労劣化についても、タイヤが一回転するごとにタイヤ周上のすべての部分は毎回接地面を通過するのでそのたびにトレッド各部は接地面内で動き、疲労し、そのことによってごくわずかな量ずつではあるが摩耗してゆく。カーカスは屈曲を受けてたわみ、カーカスを構成するコードには張力の変動が、そしてプライ間のゴム層にはせん断ひずみが繰り返し発生する。

この挙動下ではヒステリシス・ロスのため変形を繰

り返すタイヤの各部分には熱が発生し、次第に蓄積して行く。タイヤはその結果各部の温度が上昇する。温度上昇するとタイヤの寿命には二重のマイナス要因となる。

その一つは、温度が上昇するにつれてタイヤを構成している材料も高温下に置かれ、これによって寿命が低下するということであり、さらにもう一つは持続する高温下で、タイヤの材料が次第に疲労劣化して行くことである。このようにタイヤは一面ではトレッドゴムを次第に失って行き、他方では高温と疲労のために各部分の強度を失って行く。

以上述べたように、耐久性に関して重要なのは、使用温度である。使用温度に対して次のように考えられる。

1 高温下ではゴム強度が低下する

2 高温下ではゴムの老化が速く進み、強度、破断伸びの低下も速い

ゴムは当然のことながら高温に曝されたほうが強度が低下し、劣化が大きくなる。このことは国内だけで使用している時代に比較して、全世界で使用される時代では、温度の許容幅を上げなければならないことを意味する。つまり一國で許容されていた性能の範囲では間に合わなくなり、更に耐久性の許容幅を拡大しなければならない。実際高温地域では温度による劣化促進によるトラブルがよく起こり、対策に時間がかかった。

6.1.6 タイヤの偶発故障

①カットバーストとショックバースト

石などで傷を受けてコードが切断され、空気圧を負担しきれなくなっておこすバーストがカットバーストであり、傷はなくて突起などに乗り上げた衝撃で過大な力がコードにかかり、コード層が破壊して起こるのがショックバーストである。

普通は非舗装路で起こるが、舗装路上でもタイヤが石などの障害物を踏むと、それを包み込むような変形をする。障害物が小さければトレッドゴムだけの局部的な変形ですが、おおきな障害物ではカーカスまでも大きく変形する。障害物の大きさ・形状・表面の摩擦係数が影響し、タイヤのほうでは空気圧の高低・カーカス強度の大小等、さらに走行速度が速いか遅い等々の条件によってタイヤに加わる応力の集中度、変形量、衝撃度等が変化する。現在では非舗装路を走るダンプトラックや建設用車両などで起こる。

6.1.7 耐摩耗性

タイヤは走行とともに表面が摩耗して減って行く。

トレッド面での摩耗現象は多くの入力によってことなるので非常に複雑であるが、大雑把にいつてしまえば、路面での摩擦力による。制駆動、コーナリングといったような路面で大きな摩擦力を生ずる走行ではなく、一定速度でタイヤが転動して行くような回転時にはほとんど摩耗しない。つまりトレッドと路面における摩擦力が大きいほど摩耗しやすい。摩耗寿命の車両による違いは以下のように言われている¹²⁾。

摩耗寿命の概略値¹²⁾

	区分	摩耗寿命
乗用車用 スチールラジアル タイヤ	汎用タイヤ	3～6万 km
	高性能タイヤ	2～3万 km
トラック・バス用 スチールラジアル タイヤ	路線トラック	20～30万 km
	バス	10～20万 km
	ダンプトラック	5～10万 km

タイヤと路面の間で摩擦が大きく発生する主な要因は(1)制駆動(2)コーナリング(曲がる)時である。

(1) 制駆動を受けるとき

タイヤの周方向に沿った接地圧分布を図6.10と図6.11に示した。

これらの図から高荷重ほど両端に高接地圧力が生じることがわかる。図6.11から縦方向(前後方向)において制駆動時に踏み込みとけり出し時に高接地圧力が生じることがわかる。タイヤに制駆動がかかるとき、タイヤ全体としてはスリップが起こっている。路面では粘着域と滑り域がみられるが、これが磨耗原因となる。

極限の場合、たとえば、タイヤがロックして引きずられるときや、スピンする時には粘着域は存在しない。タイヤの摩耗は滑り域で発生するので、滑り域が広がるような条件、つまり急加速、急ブレーキなどはタイヤの摩耗を著しく促進する。

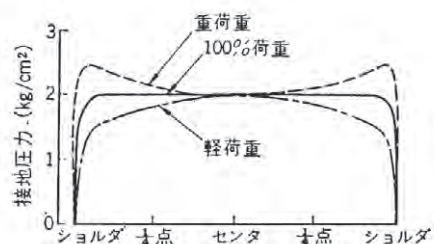


図 6.10 乗用車用タイヤの接地圧特性¹³⁾
(横方向)の概略図(ショルダー部では軽荷重で低く、重荷重で高い)

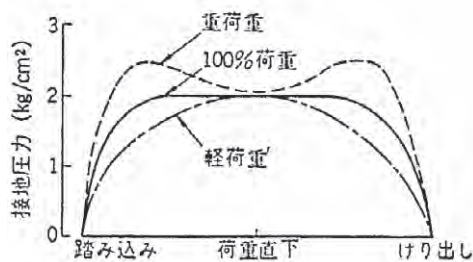


図 6.11 乗用車用タイヤの接地圧特性¹³⁾
(縦方向)の概略図(踏み込み直後と
けり出し直前では、低荷重で低く、重
荷重で高い)

(2) コーナリングにより横力を受けるとき

車がカーブを切りながら進行するときには、タイヤは横滑りして遠心力に対抗する横力を発生する。接地面の外では当然横力は0であるが、接地面内ではスリップ角によるタイヤの進行方向と回転面のずれのため、この二つの中心線は分かれ、はじめの内はトレッドは路面に粘着し、路面との間の相対移動は起こっていないが、タイヤの変形が大きくなり、復元力が增大してトレッドと路面間の粘着力では支え切れなくなると、トレッドはすべりはじめ、接地面後端ではカーカス中心線とトレッド中心線は一致する(図 6.12 参照)。このような動きをタイヤ周上の各点が繰り返す。タイヤの摩耗は滑り域で発生する。ハンドルを大きくすれば滑り角が大きくなり、横力も増加し、タイヤの摩耗も増える。

この摩耗が進行してパターンがなくなるまで、骨格部分である、ベルトやカーカスのようなケース(case)

が壊れることなく寿命を全うすることが好ましい。

タイヤは基本的にはゴムでできているので、各部にかかる応力が分かれば合理的に許容限界を予測できるはずである。ところがゴムも繊維も高分子物であり、動的変形によって、温度上昇、ならびに機械的な繰り返し負荷による熱的、機械的な強度低下や疲労劣化が起こって、許容応力を簡単に決められない。

摩耗に関する技術を見ると、一般的に摩耗そのものを体質的に改善するという技術開発は材料で行うことが多いが、部分的に摩耗してしまう偏摩耗では、構造設計で対策を打つことが多い。

摩耗に関する機構は非常に複雑で、評価法もかなりむずかしい。長いタイヤ技術の歴史の中で解決すべき課題が残っている分野である。世界的にも日本からも実験室でできる摩耗評価試験機がいろいろ開発されてきたが、まだ決定的というものには至っていないという状況である。

ラジアルタイヤの耐久性は大きな課題であって、特にスチールコードとゴムの接着に関するトラブルは、世界的に起こった大問題であった。それに関する研究も多くの人々によってなされて解決されて行った。

6.1.8 ランフラットタイヤ

耐久性に対する新しい提案

ドライバーの安全としてパンクのような突発事故に対する対策は、いつも底辺に流れる安全問題として考えられている。

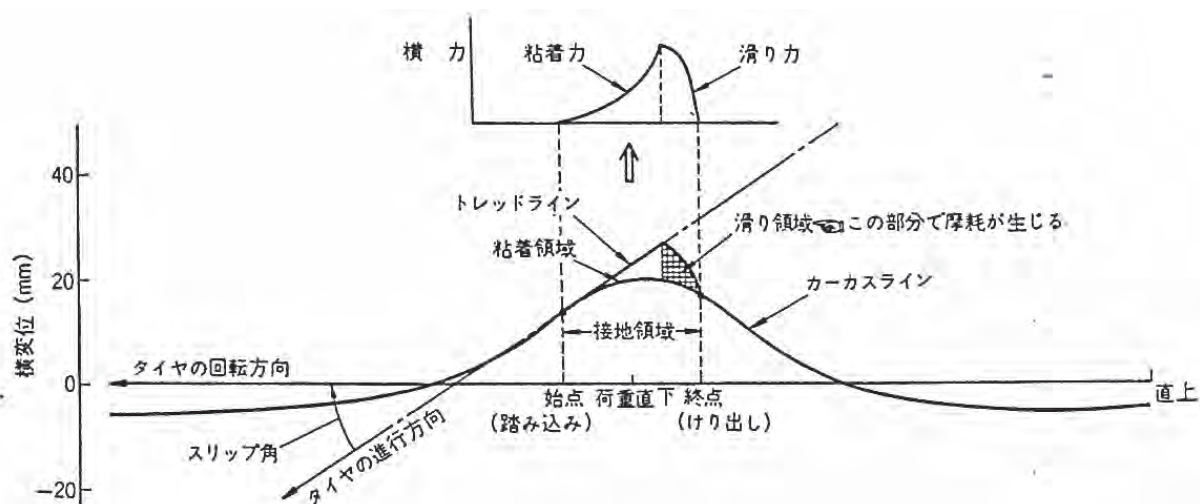
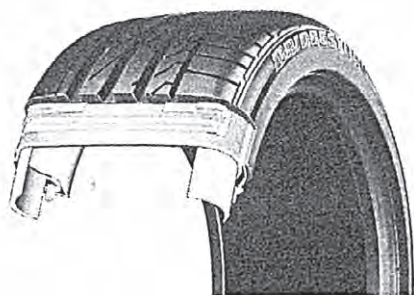


図 6.12 コーナリング時におけるタイヤの横変形と横力分布の概略図¹⁴⁾



タイヤ断面図

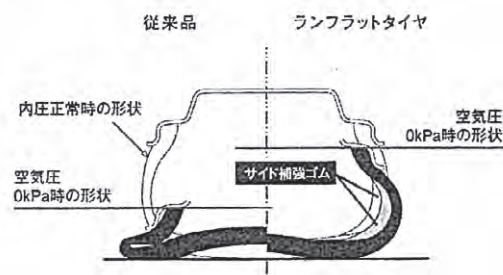


図 6.13 ランフラットタイヤ¹⁵⁾

ランフラットタイヤは空気圧が0になっても一時的に走行可能であるタイヤである（図 6.13 参照）。

これは、タイヤ構造的にはサイド補強ゴムを内部に装備することにより達成された。この方法はタイヤ一本当たりとしては、補強ゴムの分だけ重量の増加をもたらすが、車両全体として見た場合、スベアタイヤが不要となり、車両の総重量が低減される。また、ユーザーとしてはスベアタイヤを常時運ぶ必要がなくなり、その分車内空間がひろくなるためメリットは大きい。

6.1.9 まとめ

以上のように耐久性は特に日本独自の問題と言うことではないので、その対処法も日本独自技術と言うわけではない。この中では、日本の技術としては①スチールの接着問題がかなり大きな問題となり（もちろん他国でも起こったが）、その対処法が進んだ、②ゴムの劣化評価法（Ahagon プロット）の優位性を提案している、③ランフラットタイヤの技術が進んでいる、などが挙げられる。

耐久性は時代の要求によって変わると言うような問題ではなく、確保されて当然であり、環境時代においてはタイヤの寿命を延ばす必要があるので、表面に出てくる性能ではないが重要性は拡大して行く。

引用文献)

- 1) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p92 ～ 94
- 2) A.Ahagon, Rubber Chemistry and Technology 59 p187 (1986)
- 3) J.M.Baldwin ,D.R.Bauer and P.D.Hurley Presented at a meeting of the Rubber Division American Chemical Society. Columbus ,OH October 5-8,2004
- 4) W.J.van Ooij ,Rubber Chemistry and Technology , 57 p421 (1984)

- 5) 石川泰弘：日本ゴム協会誌 45 p921 (1972)
- 6) Y.Ishikawa , Rubber Chemistry and Technology , 57 p855 (1984)
- 7) W.J.van Ooij Kautschuk Gummi Kunststoffe 44 p348 4/91
- 8) Lievens ,Kautschuk Gummi Kunststoffe 39 p122 2/86
- 9) Patil Pankaj Y. and Ooij W.J , Rubber Chemistry and Technology 79 p82 (2006)
- 10) 森邦夫、金戴宗、安川貴巳：日本ゴム協会誌 67 p293 (1994)
- 11) 「自動車用タイヤの基礎と実際」株式会社ブリジストン編 山海堂2006年1月 p293を書きなおした。
- 12) 渡邊徹郎：「タイヤのおはなし」日本規格協会 2002 年 10 月 p114 より
- 13) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p87
- 14) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p88
- 15) 「ゴム・エラストマーと環境」ゴム技術フォーラム編日ゴム協誌 2008 年 P104
- 16) 渡邊徹郎：「タイヤのおはなし」日本規格協会 2002 年 10 月 p89 ～ 90
- 17) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成 4 年 6 月 p114

6.2 運動性能の時代 —運動性能の時代のラジアルタイヤの成熟化時代

6.2.1 低転がり抵抗へのゴムの開発

ラジアルタイヤはスチールコードというかなり異質な材料を使ったために、接着不良による耐久性の大きな問題があった。それも多くの研究者によって克服されていった。その後は、1980 年代以降運動性能の時代になった。この時代以降、タイヤの商品、技術ともに日本の特徴が現れてきたと言ってよい。それ以前の

戦後のタイヤ技術の経緯を俯瞰すると、戦後外国から入って来た技術、新規な原材料、新規な構造変化、バイアスからラジアル化へ、チューブタイプからチューブレスタイプへという外国技術を習得してきた時代を経過したが、このころから自前技術で細かい最適化技術に大いに貢献した。

耐久性能に関係する設計要因には構造設計要因より材料要因が多かった。しかし運動性能には、転がり抵抗（燃費性）、摩擦（グリップ）性能のような材料要因だけではなく、操縦安定性のようなコーナリング性能には構造設計要因が関係する。つまり運動性能は両者が共存する分野である。

(1) 転がり抵抗へのゴムの寄与

タイヤの転がり抵抗を下げると燃費は改善される。環境時代になって燃費改善のための転がり抵抗低下が要求される時代になって行った。タイヤ中の各部分の転がり抵抗への寄与は次の図のようになっており、全体の半分をトレッドが占めているので、トレッドへの対策が重点的に行われてきた。

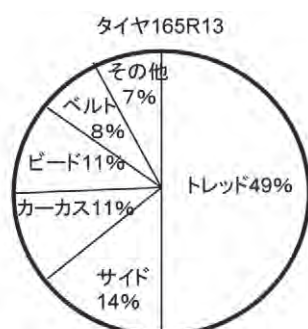


図 6.14 タイヤ各部の転がり抵抗への寄与率¹⁾
(有限要素法による)

そこで低転がり抵抗の開発にはトレッドゴムが重要であるということになった。すなわちエネルギーロスが小さい材料をトレッドゴムに用いることが要求された。

一方では、濡れた路面などでのブレーキ性能をよくするにはエネルギーロスを高くしなければならない。したがって既存のタイヤ用ゴムでエネルギーロスの小さいゴムを用いるとブレーキ性能は低下してしまう。つまり走行時のエネルギーロスはできるだけ小さく、ブレーキ時のロスはできるだけ大きくという二律背反 (trade-off) の関係になる。

ブレーキ性能はトレッドゴムから見れば、路面とタイヤ路面との摩擦の問題となる。そこでゴムの摩擦について考える。

(2) ゴムの摩擦

ゴムと固体表面との摩擦現象は一般の固体同士の摩擦現象とはまったくちがう。ゴムの場合摩擦係数は面圧の増加によって減少するし、相対すべり速度や温度にも関係する。また摩擦係数は静止状態よりも、相対的にごく遅い速度で滑っているときに最大となる。

摩擦のモデルを図 6.15 に示す。

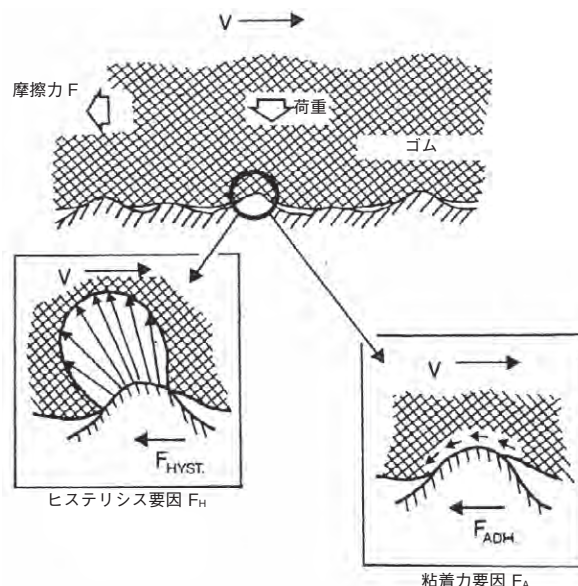


図 6.15 ゴムの摩擦の要因³⁾

ゴムのかたまりを他の固体に垂直力で押し付け、界面に沿ってすべらせるとこの物体間では接触面に分子引力による粘着力 (Adhesive Force) が働いて滑りに抵抗する。固体表面に凹凸があるとゴムは弾性が低いので、圧縮変形によってその凹凸を埋めようとする。そのため界面に沿って滑べらせると固体面の凸部に突き当たったゴム部は圧縮を受け、凸部の背面や凹部ではゴムはその圧縮から解放されまたは逆に伸びる。このような局所的な繰り返しによって出入りする変形エネルギーの差、すなわちヒステリシスロスが摩擦仕事となり、熱エネルギーの形で消費され、それに対応する摩擦力が界面に働く。

すなわち、全摩擦 = ヒステリシス摩擦 (F_H ; Hysteresis Force) + 粘着摩擦 (F_A ; Adhesive Force) である。この中で特に Wet μ (濡れた路面上の摩擦係数) のような摩擦は、ヒステリシスロスの効果が大きいと言われている。ヒステリシス摩擦は、ゴムの $\tan \delta$ (ヒステリシス要素; 振動応力と振動ひずみの位相差 δ の正接) や E' (弾性率) のような粘弾性的性質に依存する性質を持つ。粘弾性的性質は、基本的に破壊現象ではなく、ゴムに繰り返し与えられるひずみ (変形) に対する応答であって、体積全体の性質に依存し、極微

小な部分の性質に依存するわけではない。コンパウンドの配合から考えると、全体に占める体積が大きい配合要素ほど影響が大きいことになる。通常、体積の順に言えば、最も多いのが天然ゴムや合成ゴム等の原料ゴム（ポリマー）であり、次がカーボンブラックやシリカなどの補強剤である。従って、運動性能を要求する時代になると原料ポリマーと補強剤の開発に集中することになる。

摩擦力が大きいということは転がりにくいということであり、タイヤの回転に対する抵抗が高いということになり、燃費性は悪化する。燃費性と安全性は背反現象である。つまり上に述べたように低転がり抵抗 LRR (Low Rolling Resistance) と摩擦 (特に Wet 摩擦) は背反事象 (trade-off) になっている。転がりやすいのは止りにくい。現在ではさらに夏冬性能 (高温域、低温域、Dry, Wet 条件での高いグリップ性)、LRR 耐摩耗性の併立を目指すものが多くなっている。低燃費性 (低転がり抵抗性) と高制動性 (グリップ性) の併立については 1980 年代以降多くの研究者が取り組んだ最大のテーマであった。

この背反事象を解決するために用いたのは温度時間換算則の適用であった。高分子物では温度と時間は換算されるとされており、高速 (高周波数) の変形には低温の物性が対応し、低速 (低周波数) の変形には高温の物性が対応するというものの応用である。目的関数は、刺激に対する応答の遅れ関数である $\tan \delta$ を用いている。転がり抵抗はタイヤが回転することに対する抵抗であるために、1 回転で 1 変形に対する抵抗である。この周波数は数 10Hz (低速) である。一方制動 (グリップ) 性は路面の突起に対する変形回復という往復運動をおこすのであるが、この場合路面の細かい凹凸をフォローして行くとき、この凹凸の変形・回復の速度は数万～数百万 Hz (高速) であるといわれている。そこで転がり抵抗を高温の $\tan \delta$ で、またグリップを低温の $\tan \delta$ で対応させることから、一般には 50～60℃ の $\tan \delta$ (転がり抵抗) と 0℃ の $\tan \delta$ (Wet グリップ) を測定し、この $\tan \delta$ カーブを急に作る開発をおこなってきた。図 6.16 参照。

以上のことから転がり抵抗を低くするには 60℃ の $\tan \delta$ を低くする必要があるがこのためにはエネルギーロスが小さい材料を用いることが重要になる。既存のタイヤ用ゴムでエネルギーロスの小さい天然ゴムやポリブタジエン (BR) ゴムを用いると、60℃ の $\tan \delta$ は低くなるが 0℃ の $\tan \delta$ も低下してしまう。 $\tan \delta$ カーブのピークは T_g (ガラス転移温度; ゴム状からガラス状へ凍結が始まる温度) にある。したがって

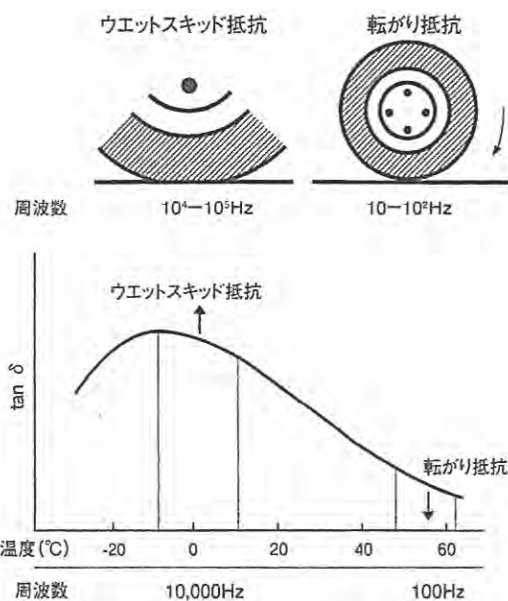


図 6.16 $\tan \delta$ の温度依存性および周波数依存性とタイヤ要求特性の関係²⁾

T_g が高いゴムを用いれば 0℃ の $\tan \delta$ は高くなるが、60℃ の $\tan \delta$ も高くなってしまふ。一方 T_g を低くすれば上に示した BR のように 60℃ の $\tan \delta$ は低くできるが、0℃ の $\tan \delta$ も低下してしまう。この両者に対応するものとして一般的には SBR を用いることが多く、一般には E (Emulsion) -SBR (乳化重合; ラジカル重合) を用いるが、さらに 0℃ と 60℃ の $\tan \delta$ カーブを急傾斜にする手法として S (Solution) -SBR (溶液重合; アニオン重合) を用いるようになって行った (図 6.17 参照)。

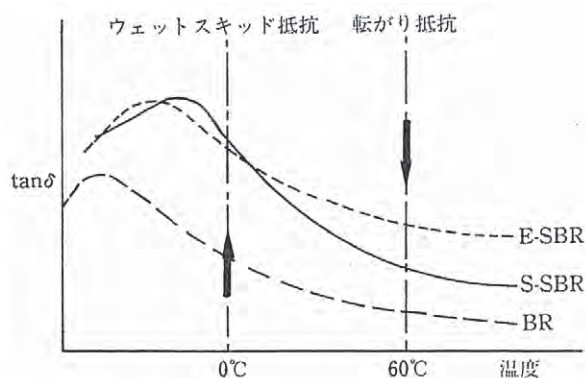


図 6.17 各種合成ゴムの $\tan \delta$ と温度の関係⁶⁾

さらに $\tan \delta$ カーブを急に作る共通手法としてはカーボン量を減らすことも知られており、このことも広く行われてきた⁵⁾。

(3) 乗用車用タイヤのゴムにおける合成技術の展開

上のように乗用車用タイヤにおける SBR の存在は大きく、そのゴム配合に与えた多様性への効果は計り

知れない。SBRはそのミクロ構造や変性などについて、自在に設計できるからである。このようにSBRは多様な分子設計が可能であるため、 $\tan \delta$ カーブを急にするための詳細な分子設計によるコンパウンド配合設計時代にはいった(1980年代、図6.18参照)。

この時代ラジカル重合(乳化重合)から、アニオン重合(溶液重合)にすることによって次のような分子設計上の自由度が広がった。

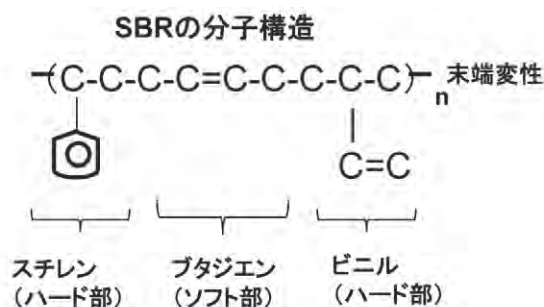


図 6.18 SBR のミクロ構造

- 1 スチレン量 2 ビニル量 3 分子修飾(末端変性)
- 4 分子量 5 分子量分布
- 6 シーケンス分布 (スチレン連鎖分布)

このなかでスチレン量はラジカル重合でも変量可能なので低転がり抵抗(省燃費)だけならラジカル重合にてスチレン量の低い低 T_g のポリマーを使用すればよいのだが、それでは 0°C 付近の $\tan \delta$ が低下してしまいWetグリップ μ が低下してしまう。この二律背反をポリマーの分子設計によって解決するためS-SBR(溶液重合SBR)の手段が導入されたのである。S-SBRによる分子設計の手法を組み合わせると $\tan \delta$ カーブの設計が可能になった。S-SBRの技術習得とともに、その技術の延長上にあった末端変性技術による転がり抵抗低減技術も大きな貢献をしたと言ってよい。

この時期、 $\tan \delta$ カーブを急にするという手法は世界中が共通的に取り組んだ方法であり、タイヤ会社ごとに別な理論を用いたということではなかった。競争の焦点は利用する原材料および配合設計による効果の差であった。

この時代、目的に対する配合を最適化する技術が日本でよく研究され、この分野の日本のゴム技術の貢献は大きかった。1970年代以降二度にわたるオイルショック、その後の環境問題から省燃費の必要性によってさらに低燃費性を改善するため変性SBRの研究が盛んに行われたのである。

(4) 分子変性技術

アニオン重合の触媒としては、有機リチウム(アル

キルリチウム；*n*-ブチルリチウムなど)が一般的であり、リビング重合性(末端が重合中触媒活性を生きた状態で持続している)を持っているために、重合停止させなければいつまでも触媒活性を持続させる。結合様式では T_g を変化させる因子として硬い要素であるスチレン量とともにビニル量のコントロールが重要である(多くすると T_g が高くなる)。アニオンリビング重合では、エーテル化合物やアミン化合物(ビニル化剤)などを重合時に添加することにより、あるいは、重合温度をコントロールすることでビニル量をコントロールできる。

「またアルキルリチウム触媒を用いたアニオン・リビング重合の最終段階で、活性末端に変性剤を添加・反応させて、その後通常のメタノールなどによる停止反応を行い、分子末端変性ゴムを得る。これがゴム中ではカーボン表面と結合し、カーボン/カーボン間を固定化し、カーボン間の摩擦を低下させ、 $\tan \delta$ を下げ、発熱を抑える。有効な変性剤としてN-アルキルベンゾフェノン類とN-アルキルラクタム類があげられる。(日本ゼオン等による技術)⁸⁾」

また重合中、モノマーを100%ポリマーに変換させた後ポリマー末端が活性であることを利用して、スズやケイ素のハロゲン化物 ジビニルベンゼンなどを添加して、カップリング反応を行わせ分子量分布に変化を持たせることが可能である。この技術は日本で大いに研究され発展した⁹⁾。図6.19には四塩化スズによるカップリングと分子量分布の変化をモデル的に示した。(日本合成ゴム；現JSR等による技術)

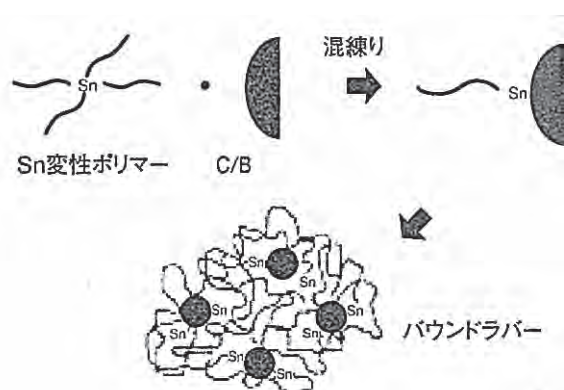


図 6.19 Sn 変性ポリマーによるカーボン分散改良モデル⁹⁾

変性ポリマー配合技術は低燃費性とウェットグリップ性の両立のためのトレッド配合の軸となった。

以上のようにカーボン入りのゴムの $\tan \delta$ を下げる(ロス、発熱を低下させる)ためには、カーボン/カーボン間の摩擦を少なくするという考えから、ゴム分子とカーボンを結合させカーボンの自由な動きを封じる

という技術が考えられた。

このためにポリマー中や末端にカーボンと親和性のある官能基を導入するという上に述べたような技術がよく研究された。Noguchi⁷⁾ 永田⁸⁾、Ohshima¹²⁾ 堤¹³⁾らはポリマーの末端変性による転がり抵抗低下効果を確認している。この効果のなかで、図 6.19 に示すようなポリマー末端を効率的に修飾し、ポリマー末端のカーボンブラックとの親和性を高めるという考えが出された。いずれにしろ末端自由鎖をなくすことにより粘性要因を軽減する考えであった。このことに関連する特許も多く出願された¹⁴⁾。

(5) シリカの時代

1990 年以降はさらなる低燃費とウェットスキッド性能の両立を目指して、カーボンの一部をシリカに置き換える技術が広がった。シリカはその表面に親水性のシラノール基を持っているためゴム中では分散しにくく、凝集塊になりやすい。それゆえカーボンに比べてゴム中へ均一に分散させることは困難である。そのためシランカップリング剤を用いることでシリカ表面を疎水化し、シリカの分散性を向上させるとともに、シリカとゴムを反応させて結合（一次結合）させることが図られている。シリカ同士の接触による発熱を効果的にさげることによる低転がり抵抗を獲得するものである。この手法をとるとゴム状態の部分がよりゴムのようになるため $\tan \delta$ ピークがより高くなって、 T_g を選べば 0°C の $\tan \delta$ をあげることもできるので、シリカによって $\tan \delta$ カーブがカーボンより急になり、転がり抵抗も Wet グリップも同時にあげることができる。図 6.20 にシリカ配合とカーボン配合材料の粘弾性特徴比較を示す。

またシリカの粘弾性への寄与の研究も進んだ¹⁰⁾。1990 年代初頭にミシュランがグリーンタイヤとして発表して以来世界中で使用が拡大していった。しかも環境問題（低燃費による CO_2 低減効果）対策とも合致していたので急速に普及していった。この関連の研究は多くの研究者によってなされた。^{15) 16) 17) 18)}

しかしながら使用するシランカップリング剤は、架橋剤の構造を持っているために混合時に温度が高くなると、反応が進んで固まる（焼け状態）ので、低温で練る加工方法に関する研究が世界的に行われた。

この反応の制御のために噛みあい式ローターをもった混合機が従来の接線式ローターより冷却効果が高く優れていることが分かってきたので、シリカの混合機は変わりつつある^{10) 11)}。

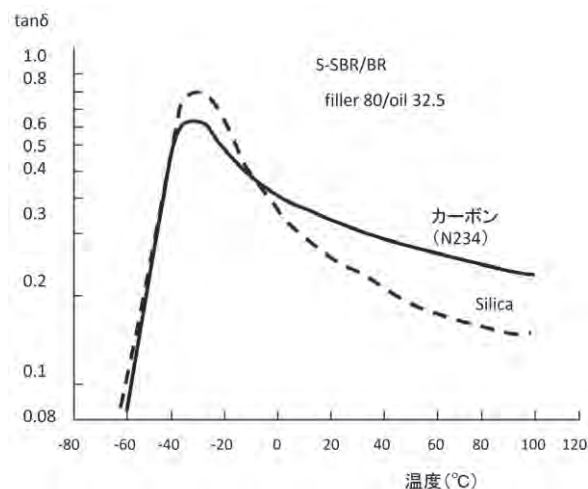


図 6.20 カーボンとシリカの $\tan \delta$ の温度依存性⁴⁾

5% DSA 10Hz カーボン；N234 シリカ (+TESPT；カップリング剤) Base 配合； S-SBR (High vinyl SBR75/BR25) Filler 80phr oil 32.5

(6) シリカ変性技術¹⁹⁾

さらにカーボンとポリマーとの結合と同じように、ポリマーがシリカと結合しやすいように変性するという変性技術も開発された。

①シリカ用の変性

シリカ粒子と相互作用あるいは結合する官能基を SBR に導入する研究として代表的なシリカ配合用変性 SBR として、リビング末端にジグリシジルアミン化合物や、環状イミン化合物、ハロゲン化アルコキシシラン化合物、アルコキシ変性 SBR などが開発されている。これらの官能基で末端処理した SBR では 0°C の $\tan \delta$ の上昇、 $50^\circ\text{C} \sim 60^\circ\text{C}$ の低下が確認されている²⁰⁾。

次の図 6.21 には変性ポリマーを使用したゴムの 0°C の $\tan \delta$ と 50°C の $\tan \delta$ への効果を示した。いずれの末端変性剤処理も未反応に比較して効果を示していることが分かる²⁰⁾。

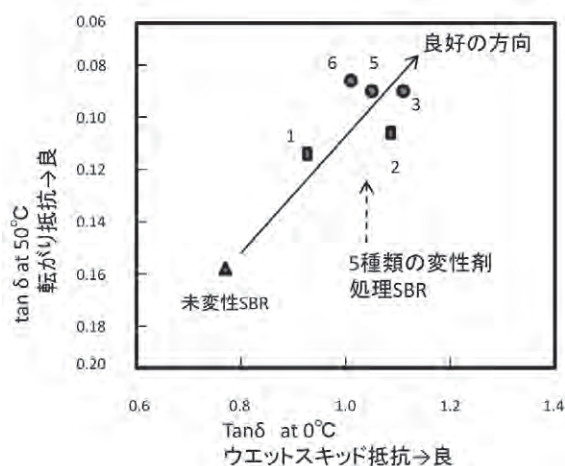


図 6.21 各種変性 SBR の省燃費性能とウェットグリップ性²⁰⁾

この図からもアニオン重合法による変性剤を反応させて得られた変性 SBR のシリカとの相互作用が強まり、シリカ粒子の分散性が改良されていることがわかる。現状ではカーボンをシリカに置き換えて、さらに SBR を変性するという組み合わせがもっとも有効な手段となっている。これらの $\tan \delta$ に及ぼす関係を次の図 6.22 にモデル的に示した。

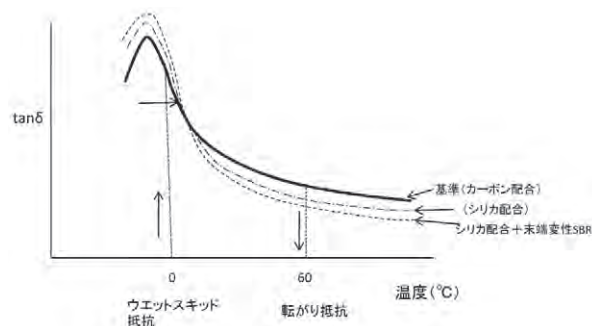


図 6.22 カーボン配合→シリカ配合→変性シリカ配合への $\tan \delta$ 曲線変化図（モデル図）

ポリマーをシリカ向けに変性するという特許も日本から多く出されている¹⁹⁾。

この時期の技術では、特に詳細配合設計として末端変性技術に日本の合成技術の力が発揮されたと言ってもよい。

溶液重合 SBR の合成やシリカの使用といった時代を画する技術というものは、基本は日本発ではないがその発展と最適化、実用化では早かったといえる。

6.2.2 運動性能の構造設計要素

(1) 偏平比の影響

ラジアル化は進んで、さらに運動性能を向上させる

ために高性能タイヤを中心に偏平比の低いタイヤが普及した。このタイヤはタイヤの幅を広げ高さを低くすることによって運動性能特に操縦性に優れていたのも、高性能タイヤ以外にも全体的に低偏平化していった(図 6.23 (A) (B))。

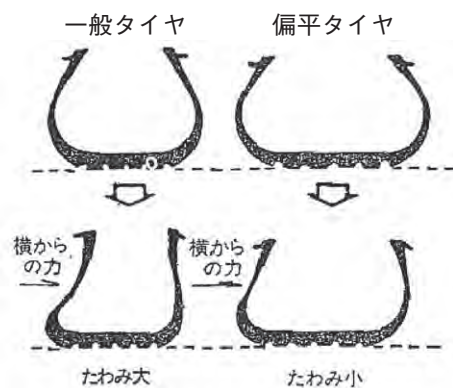


図 6.23(B) 偏平化による構造変化²¹⁾

タイヤの断面形状を偏平にしてトレッドの幅を広げたタイヤは、大きなコーナリングフォースが発生する。これはトレッド幅に応じてトレッド部のベルト部の幅も幅広になっているので、トレッド曲げ剛性が大きくなっているためである。コーナリングパワー（コーナリングフォースの直線部分の傾き）も高い。

次の図 6.24 は偏平比とコーナリングパワーの大きさを示したものである。偏平比が小さくなるとともにコーナリングパワーは大きくなっている。このことは運転時に運転者はハンドル操作が機敏になったように感ずる。

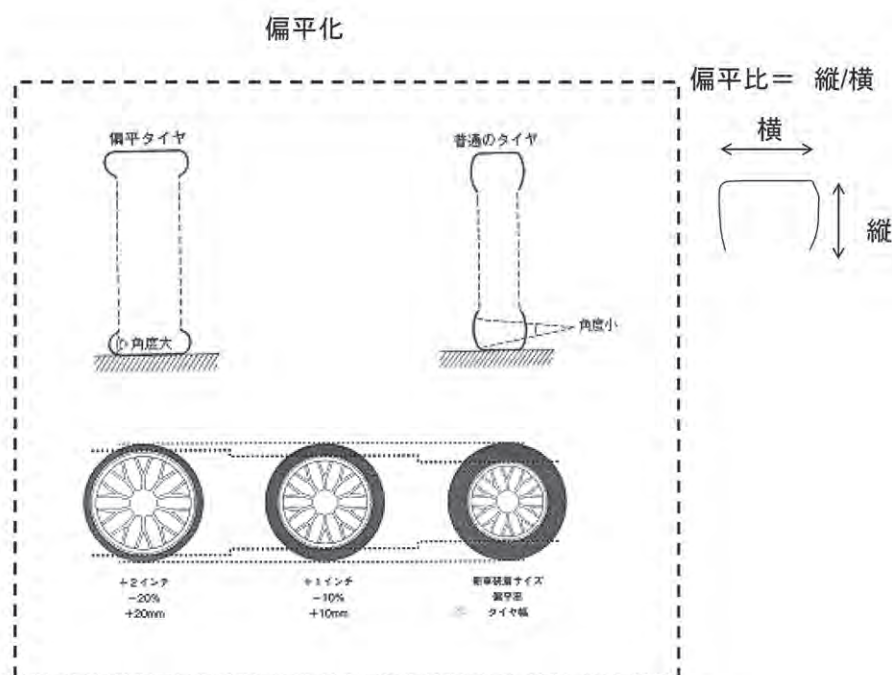


図 6.23(A) 偏平比の影響²¹⁾

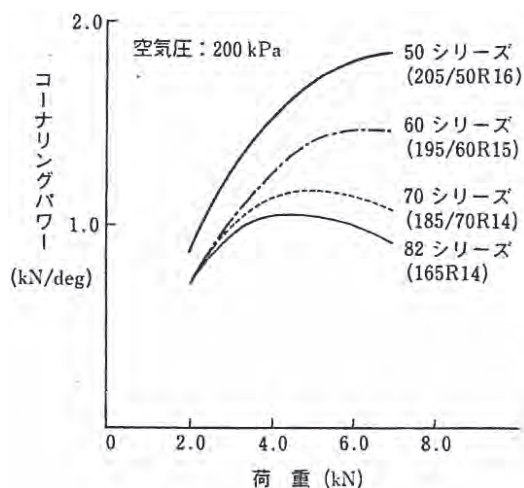


図 6.24 タイヤの偏平比とコーナリングパワー²²⁾

スポーツカーなどの高性能車に 50 シリーズ、40 シリーズなど偏平比の小さいタイヤが装着されるのは、高速走行では旋回時だけでなく、直進時においてもより大きいコーナリングパワーを必要とするためである。偏平比を小さくすると同じタイヤの外径でもリム径が大きくなるので、より外径の大きいブレーキディスクなどの取り付けが可能になり、ブレーキ性能にも有利となる利点もある。このような運動性能をレビューすると粘弾性制御による材料開発と偏平化のような構造開発を相互に組み合わせた、つまり材料+構造の技術開発によるタイヤ開発がされていることがわかる。このことは日本のタイヤの開発としては偏平化を進める高性能タイヤ開発というカテゴリーの発達を促したと言える。しかし偏平化は燃費性を悪化させるので、新たな課題である。

本項で述べたように運動性能においてもシリカ技術やアニオン重合などは日本発の技術とは言えないが、それらの技術を吸収し、末端変性などの技術を附加して行き、このころから日本のタイヤ技術が世界でもトップクラスになっていった。

とくにポリマーメーカーの重合技術の発展が大きかった。このころの材料、構造設計を通して特に日本のタイヤメーカーの諸性能をバランス化するという技術のレベルが急速に上がって行ったと思われる。

引用文献)

- 1) 「ゴム工業便覧」<第四版> 日本ゴム協会編 平成 6 年 1 月 P750
上野一海：自動車技術、Vol. 34, No10, (1960)
より書き換え
- 2) 小澤洋一：高分子 54 p750 (2005)
- 3) DESMOND F. MOORE 『THE FRICTION OF

PNEUMATIC TYRES』

ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING
COMPANY Amsterdam-Oxford-New York
1975 p5

- 4) Meng-Jiao Wang, Rubber Chemistry & Technology 71 p520 (1998)
(Effect of polymer -Filler and Filler -Filler Interaction on Dynamic Properties of Filled Vulcanizates) Fig 47 を書きなおし。
- 5) P.P.A. Smit : Rubber Chemistry & Technology 41 p1194 (1968)
- 6) ゴム工業における技術予測—自動車タイヤを中心として：ゴム技術フォーラム 1990 年 12 月
ポスティコーポレーション p110
- 7) Noguchi.K., Yoshioka A., Komuro K. : Presented at Meeting of Rubber Division,A.C.S. New York (1986)
- 8) 永田伸夫：日本ゴム協会誌 62 630 (1989)
- 9) 「ゴム・エラストマーと環境」日本ゴム協会 ゴム技術フォーラム編集 p134
小澤洋一：高分子 54 750 (2005) より引用。
- 10) 松田孝昭：日本ゴム協会誌 78 p46(2005) など
- 11) 森部高司：日本ゴム協会誌 74 p70 (2001)
森部高司：日本ゴム協会誌 81 p509 (2008)
山田則文：日本ゴム協会誌 81 p516 (2008)
など
- 12) N.Ohshima, F.Tsutsumi, M.Sakakibara, :
International Rubber Conference1985, Kyoto
- 13) 堤文雄、榊原満彦、大嶋昇、藤巻達雄、浜田達郎：
日本ゴム協会誌 63 p243 (1990)
- 14) 出願特許：特開ナンバー
昭 59-196337 (ゼオン) ベンゾフェノン末端処理
昭 61-042552 (ゼオン) 末端変性 SBR 昭 61-225228 (ゼオン) 末端スズ変性 昭 63-122740 (ゼオン・横浜) アミノベンゾフェノン末端処理昭 63-66246 (JSR・BS) スズ末端変性 BR 昭 63-118343 (JSR・BS) ビニル芳香族アミン末端変性 昭 63-139902 (住化) ニトロ化合物末端変性 昭 63-179949 (JSR・BS) 特定 S-SBR のスズカップリング 昭 64-040503 (JSR) 末端スズアミン変性 昭 64-62341 (JSR) Sn 末端変性 BR 昭 64-69645 (JSR) 末端変性分岐状 SBR 昭 64-118343 (JSR・BS) 窒素含有 ビニル化合物末端変性 昭 64-22940 (JSR・BS) アミノ基含有不飽和化合物共重合 or 末端変性 BR or SBR 平 01-146937 (ゼオン・横浜) アミノベンゾフェノ

ン末端処理 平 01-146939 (横浜・ゼオン) アミノベンゾフェノン末端処理 平 01-158056 (横浜・ゼオン) アミノベンゾフェノン末端処理 平 01-135844 (JSR・BS) ハイトランス-スズカップリングによる末端変性 平 01-35847 (JSR・BS) ハイトランス-ブタジエン系 (BRorSBR) 官能スズカップリング末端変性

平 6-279515 (JSR) 重合体の活性末端をスズ化合物等と反応させて 2000-159813 (宇部) アミノ基およびシラノール基などによって変性されたジエン系合成ゴム 2004-276686 (東洋) ベンゾフェノン、チオベンゾフェノン、イソシアナート化合物及びハロゲン化スズ化合物等で変性されたブタジエンゴム 2005-146115 (住友) アルコキシシリル基および／またはグリシジルアミノ基で変性 2007-31722 (宇部) アミン末端処理 BR 2007-161798 (宇部) アミノ基とアルコキシ基とを有する珪素化合物により変性 2007-169558 (住友) アルコキシ基、アルコキシシリル基で変性されたジエン系ゴム

[略称] ゼオン：日本ゼオン BS：ブリヂストン JSR：日本合成ゴム、現 JSR 住友：住友ゴム 横浜：横浜ゴム 東洋：東洋ゴム 宇部：宇部興産

- 15) Payne A.R. Whittaker, R.E. : Rubber Chemistry and Technology 44 p440 (1971)
Hans-Detlef Luginsland : Applied Technology Advanced Filler Harry-Kloepfer Rtr.1 50997 Cologne Federal Republic of Germany , Cologne October 2002
- 16) YingbingLi,M.J.Wang ,Tao Zhang, Fenbou Zhang and Ximei Fu : Rubber Chemistry and Technology 67 p693 (1994)
- 17) 皆川康久：日本ゴム協会 第 16 回エラストマー討論会講演要旨集 p68 (2003)
- 18) 加部和幸、鈴木亘男、宮下直士：日本ゴム協会誌 2002 年次大会 p79 (2002)
- 19) 出願特許 (シリカ + 変性関連)：特開ナンバー 平 11-209519 (横浜) ベンゾフェノン、イソシアナート、ハロゲン化スズ等で変性されたポリマー SBR 2002-103912 (BS) アルコキシシリル変性ジエン系ゴム 2005-126556 (住友) カルボキシル基、水酸基で末端変性された SBR 2005-146115 (住友) アルコキシグリシジルアミン変性 SBR 2005-336347 (BS) ヒドロキシアキシラン化合物変性 SBR 2006-160884 (BS) 分子中

に窒素を含む官能基を 2 つ以上有する変性共役ジエン系重合体 2009-2635586 (BS) 分子内に、プロトン性アミノ基又は、脱離可能な官能基で保護されたアミノ基を有する変性共役ジエン系共重合体 2009-280805 (BS) アミン系官能基変性ポリブタジエンゴムアミノ基とヒドロカルビルオキシシラン基を有するゴム 2010-209254 (JSR) アルコキシシラン化合物を反応させる変性 SBR 2010-168469 (BS) 末端に窒素原子含有官能基を有し、かつ重合体の重合終結末端にケイ素原子含有官能基を有する変性共役ジエン系重合体ゴム

[略称] BS：ブリヂストン JSR：JSR 住友：住友ゴム 横浜：横浜ゴム

- 20) 「ゴム・エラストマーと環境」日本ゴム協会 ゴム技術フォーラム 2008 年 3 月 p136
図 4-26 を書きなおした。松田孝昭：日本ゴム協会誌 78 p46 (2005)
- 21) (A) ベストカー編：「タイヤのすべてがわかる本」平成 20 年 10 月 14 日 p87 (B) ゴム年鑑 ゴム報知新聞社 1983 年版 昭和 57 年 11 月 p62
- 22) 「自動車用タイヤの研究」：横浜ゴム株式会社編 山海堂 平成 7 年 4 月 p139

6.3 感覚・感性の時代 —感覚・感性時代のラジアルタイヤの成熟化時代

6.3.1 感覚・感性時代の時代認識

前項までに述べた、ラジアルタイヤの成熟過程での進歩は目覚ましく、多くの研究によって耐久性、転がり抵抗 (低燃費) やブレーキ性能に係る路面との摩擦などの運動性能は格段に進歩して行った。耐久性、転がり抵抗やブレーキ性能は車の運転からみれば必須要件である。これらの必要特性以外にさらに、騒音、振動、乗り心地等の要求項目がある。これらの項目は耐久性や走る、止る、曲がるなどの運動性能に比べれば必須要件ではないが、社会が成熟し、車も成熟してきてタイヤも高性能化する中で不快感を取り除くという意味で感覚、感性要素が加わってきているとみることできる。このような性能の要求はもともと存在していたが他の性能が達成されて行くに従って重要性が増して来たとも言える。

タイヤの場合近年では騒音、振動に関して N.V.H (N ; noise, V ; Vibration, H ; Harshness) という不快要素を取り除くという要求が強くなってきた。不快要素には二面性がある、車に乗っている人が感じる騒音、振動、乗り心地というものと、車が走行すること

によって周りの環境に及ぼす騒音のような社会が被る不快要素（環境問題）である。この両面について技術開発が進んでおり要素技術のレベルも高度になって来たと言える。このことは社会の進展にともなって、低燃費性などとともに環境問題がクローズアップされてきたということと関連している。

実際の開発においては、感覚・感性重視の時代になると要求性能は耐久性＋運動性能＋感覚・感性要素ということになる。ここでは戦後開発されてきた騒音、振動、乗り心地関連技術の内容について述べる。

(1) 感覚、感性の時代の多重性

耐久性→運動性能→感覚・感性への道のりは、多様化への道のりであった。それは一つのタイヤで種々の性能を同時に満足させるということであり、多くの trade-off を同時に回避し両立させねばならず、非常に解決の難しい問題となった。タイヤの設計要素から見ると、耐久性→運動性能→感覚・感性のように必要性が付加されていった。しかもこの方向に向かって材料要素から構造設計要素へと比重が大きくなっていった。この関係は次のようである。

目的性能： 耐久 → 運動 → 感覚・感性
(要素) (材料) (材料/構造設計) (構造設計)

時代はより快適を求める時代になって来たので、このような感覚・感性性能はその重要性が高くなって来た。そのことを反映して振動の伝達物であるタイヤについて多方面から研究されていった。FRR (Fiber Reinforced Rubber) たる粘弾性体の物理量の制御法習得の時代であった。その観点から不快要素を低減するための様々な研究がなされた。

(2) 振動・乗り心地

車に乗っている人が感じる騒音、振動、乗り心地というものと、車が走行することによって周りの環境に及ぼす騒音のような社会が被る不快要素（環境問題）があるが、主として乗員が感ずる振動、騒音としてハーシュネスとロードノイズを考えてみる。

①ハーシュネス

ラジアルタイヤは、剛性の大きなベルトを有しているので路面の突起を包み込む能力（これをエンベローピングパワーという）が劣り、いわゆる目地ショック（継ぎ目を拾う）が大きい。この点についてはラジアルタイヤの乗り心地が不良という結果になっている。

道路、継ぎ目、段差など、大きな路面の凹凸のある部分を通過する際に衝撃的な振動とショック音をハーシュネスと呼んでいる。ハーシュネスはバイアスタイヤが主流であった頃はそれほど問題にされていなかったが、ラジアルタイヤの普及に伴い問題になった。タイヤと車両両面からの改良により改善されたが、最近では扁平のラジアルタイヤが普及し、再び注目されてきた。ハーシュネスの発生メカニズムは以下の通りである。加振源は路面の凹凸で、路面の継ぎ目、段差など比較的大きな路面の凹凸から単発の強い衝撃を受け、この衝撃力がサスペンションを通して車体に伝達されることによって発生することになる。衝撃的な騒音と振動である。このときのショック音の周波数成分は200Hz以下にあり、ハンドルやシートで感じられる衝撃は、30～60Hzの低周波の前後振動が問題である。この評価には突起乗り越し時の速度依存性のデータを示した。図6.25には突起乗り越し時の速度依存性のデータを示した。ラジアルタイヤでは30～50km/hに顕著なピークが出ていることがわかる。この結果は車内騒音の強さ（音圧）と床面の前後加速度は一致している。このことがハーシュネスの原因となっている。

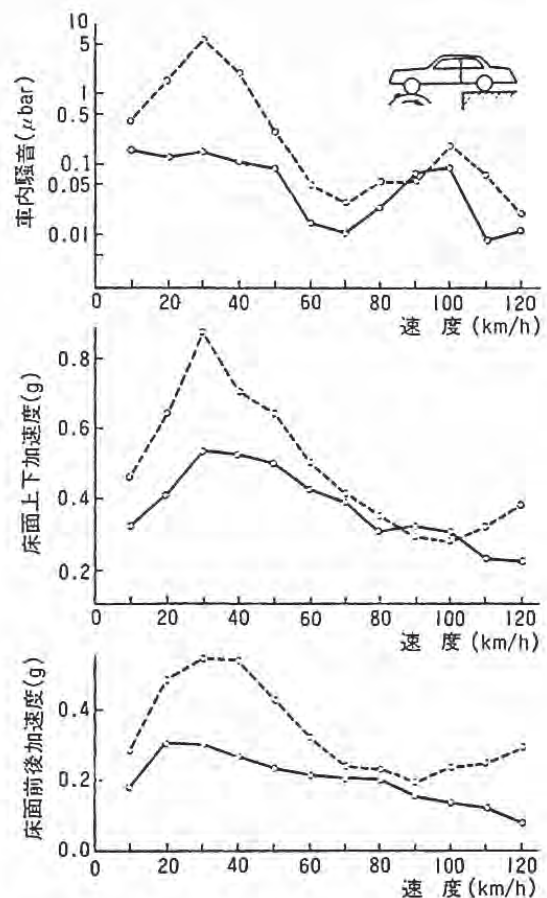


図6.25 突起乗り越し時の加速度、騒音の速度依存性¹⁾
(突起高さ、12mm、幅 25mm)
破線：ラジアルタイヤ 165SR13、実線：バイアスタイヤ 6.45-13

図 6.26 は車速 40km/h で単一突起を乗り越す時のばね下の振動と車内音のスペクトルを示したもので、車内音には 30 ～ 40Hz と 80 ～ 100Hz 付近にピークがあり、それぞれのピークはばね下振動のピークと対応していることがわかる。

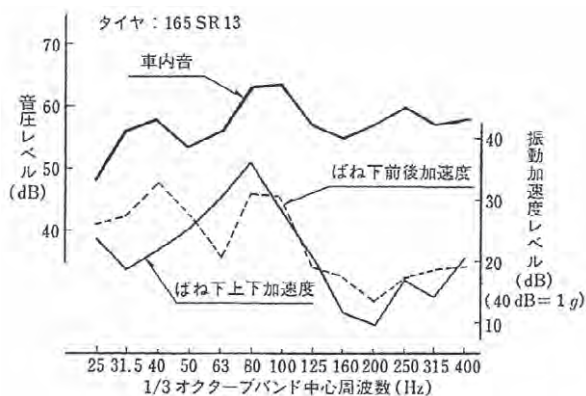


図 6.26 突起乗り越し時の車内音とばね下振動²⁾

ハーシュネスを改良するためにタイヤ単体の突起衝撃力を低減する必要がある、そのためには、トレッド部の剛性を下げ、エンベロープ特性を向上させて突起からの加振入力を小さくする必要がある。また前後の 40Hz (ばね下共振前後) と上下の 80Hz (タイヤ上下 1 次) の振動伝達率を改善することが効果的である。しかしトレッド部の剛性を下げると操縦性・安定性・高速耐久性・耐摩耗性などは低下する傾向にあるので、これらの性能を維持しつつハーシュネスを改良するためタイヤサスペンション系としての振動特性を改善することも行われている。

②ロードノイズ

ロードノイズは、荒れた路面を走行したとき、車室内に発生する低周波数の騒音である。

ロードノイズを低減するには、乗用車では、ロードノイズスペクトルの 100 ～ 200Hz 間と 300Hz 前後にある主要なピークを低減する必要がある。このためには半径方向 1 次固有振動数を低くして、断面 2 次固有振動数を高くすることで 100 ～ 300Hz 帯域の半径方向の振動伝達率を下げる、またゴムに硬度が低いゴムを用いたり、ゴムの肉厚を厚くするなど路面の凹凸によるトレッドの加振入力を低減するなどが有効であり種々の対策がとられてきた。

図 6.27 はこれらの手法を用いて改善した例を示した。しかしロードノイズは改善されるものの、サイド部剛性を低くすることで操縦性能の低下、トレッドゴムの肉を厚くすることによる低燃費性の悪化などが起こるのでこの対策も同時に考える必要性があった。

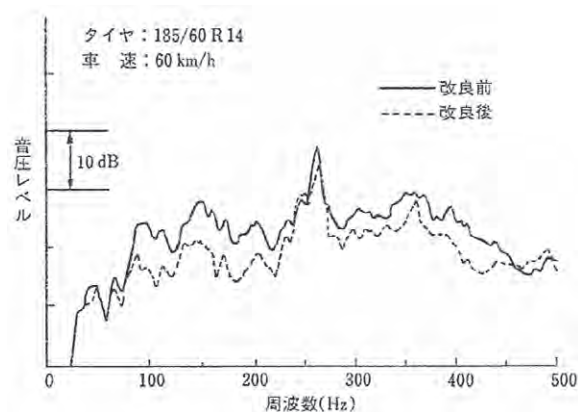


図 6.27 タイヤによるロードノイズの低減例³⁾

③空洞共鳴

空洞共鳴はタイヤ内部の共鳴による共振である。つまりタイヤを管と見た時の共鳴音である。この空洞共鳴の共振周波数はタイヤとホイールの外径のほぼ中間の径の円周を 1 波長とする音波の周波数と一致する。したがって、空洞共鳴による共振周波数はタイヤサイズによって決定され、タイヤ構造に依存しない。最近タイヤ内部に障害物を置いて、共鳴させないなどの対策が考えられるようになってきた。

④ユニフォーミティ振動

車の振動・乗心地をよくし、騒音を少なくするためにはタイヤはその周上いたるところで完全に均一であるということが望ましい。タイヤの寸法的、剛性的、重量的な均一性をユニフォーミティという。タイヤのユニフォーミティは完全に平坦な路面を走行してタイヤの軸に不均一性から発生する一回転あたりの力の変動をフォースバリエーションという。試験ではタイヤとロードホイール (ドラム) 軸間の距離を固定して以下の諸量を測定している。

- (1) 重量方向(縦方向)の力の変動: ラジアル・フォース・バリエーション (Radial Force Variation, RFV)
- (2) 横方向の反力の変動: ラテラル・フォース・バリエーション (Lateral Force Variation, LFV)
- (3) 前後方向の力の変動: トラクティブフォースバリエーション (Tractive Force Variation, TFV)、前後方向の力の変動: ラテラルフォースデビエーション (Lateral Force Deviation, LFD) (図 6.28 参照)。

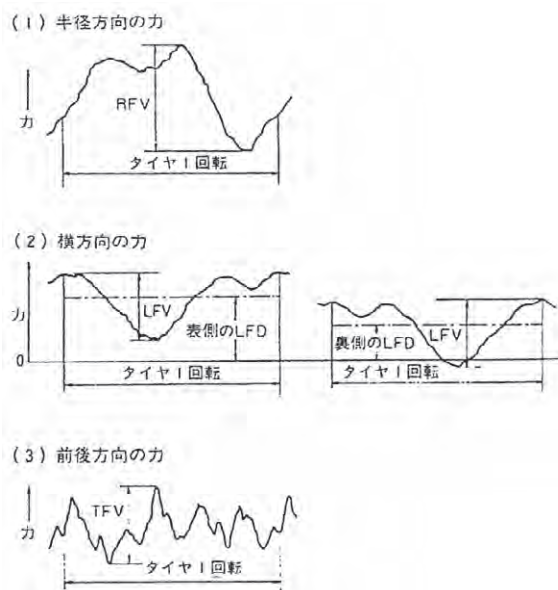


図 6.28 タイヤが発生する力の変動波数⁴⁾

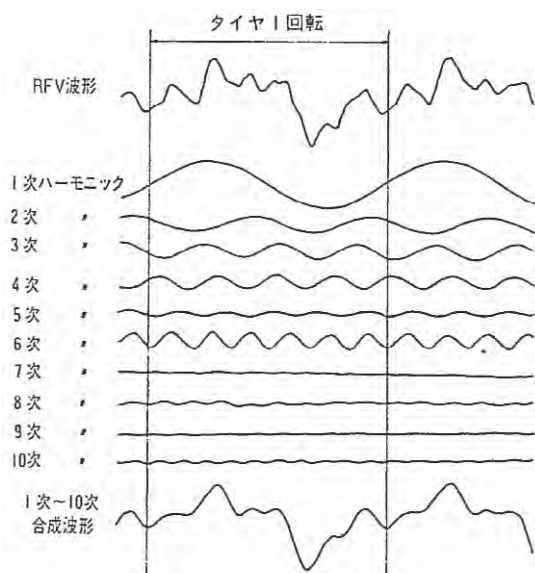


図 6.29 FV 波形のフーリエ解析例⁴⁾

測定結果を上に表示した。このユニフォーミティ測定結果からタイヤの各構造要素およびその配置や配列のバラツキを検出、推定することができる。

さらに上の図 6.29 のユニフォーミティの測定結果をフーリエ解析してバリエーション波形の高次成分を求める。高次成分は自動車の室内の不快感や音などの原因解析に重要である。つまり振動による不快感の源泉の解析となる。

タイヤの不均一性によって発生する振動は乗員と直接接触している床、シート、ハンドルなどの振動としてあるいは音として感知される。

ユニフォーミティはタイヤの構造、製造時のバラツキなどのすべての変動の合計値として現れるので、不

快感への基本的レベルを示しており、この改善度は技術の成熟度を示しているともいえる。この改善にあたり製造現場での部材の寸法精度の向上、部材の貼り合わせの調整など各メーカーは取り組んでおり、急速にレベルアップした。

(3) タイヤの騒音

ここでは車が走行することによって周りの環境に及ぼす騒音のような社会が被る不快感要素（環境問題）について述べる。

タイヤと路面の相互作用で直接タイヤから放射される騒音は、自動車が直進走行している際に発生する騒音（タイヤ道路騒音）と、急制動、急発進あるいは急旋回したときに発生する騒音（スキール音）とに分けられる。

タイヤ道路騒音は騒音公害防止の面から法規制の対象である自動車の車外騒音の主要な構成要因の1つとして問題にされているとともに、乗員の快適性を損なう車内騒音要因としても問題にされた。この取り組みはわが国では環境問題が重要視されるようになってから各タイヤメーカーはもとよりタイヤ業界としても重要課題として積極的に取り組んできた。

わが国のタイヤ業界としては JATMA（Japan Automobile Tyre Manufacturers Association）が中心になって、タイヤ道路騒音の発生メカニズムの研究など基礎的なものから、試験方法の検討、タイヤ道路騒音の現状把握、低減化技術とその他の性能への影響調査など騒音低減を図るために必要な試験、研究を多くの年月をかけて行ってきた。JATMA はこれらの結果を「タイヤ道路騒音について」にまとめている⁵⁾。

トラック・バス用のタイヤは乗用車用タイヤより騒音のレベルが高い。高度経済成長期のような建設期にトラック・バスが狭い国土で走るということは特に交通量の多い場所では大きな環境問題であって、解決が求められていたという国状もあった。

わが国では、1973 年に自動車規格「自動車用タイヤ騒音試験方法」JASO C606-86 が制定され、タイヤ道路騒音の試験法として、自動車を用いて実路上でのタイヤ道路騒音を測定する実車惰行試験方法と単体台上試験方法の2つの試験方法が規格化されている。

このうち実車惰行試験は変速ギヤ中立、エンジン停止の状態、試験タイヤを全輪に装着した車両を指定の車速で惰行させ、車両がマイクロフォン前を通過したときの最大の騒音レベルを測定する。

(4) タイヤの種類と騒音

タイヤ騒音の発生原因

パターンノイズ (Pattern Noise)

タイヤから発生する騒音のうちもっとも支配的なのがパターンノイズである。これはトレッドパターンの溝部に包まれた空気がタイヤが転動して地面からはなれるとき、あるいは地面に踏み込むときに外部に排出されて音を出すポンプ作用による。これは騒音の主力であり、パターンノイズについては、パターンのピッチをかえることによって、発生する音の周波数の分散をはかる方法が用いられている。音のエネルギーは減らせないが、騒音の周波数を広く分散させて目立たなくする。パターンのピッチとタイヤの回転速度に関係があり、およそ 200 ~ 1000Hz の基本波とその高周波からなる音である。騒音は一般にタイヤパターンが進行方向に対して平行な溝 (リブ) が多いほど低く、直角の溝 (ラグ・ブロック) が多いほど高い。またラジアルよりバイアスの方が高いことが分かっている。

トラック・バス用のタイヤのパターンを次に示した。

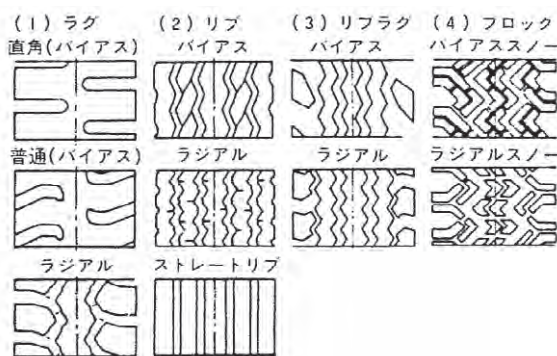


図 6.30 代表的なトラック、バス用タイヤのトレッド⁶⁾

次の図にトラック・バスでの騒音のレベルを示したが、この図からラグ>リブ、またバイアス>ラジアルであることがわかる。

図 6.32 には乗用車用タイヤの騒音の結果を示している。この結果でもラグ・ブロックの方がリブより、またバイアスよりラジアルの方が騒音は大きいということが分かる。

図 6.31 と図 6.32 から分かるようにトラック・バス用タイヤは車両への装着本数が多い事もあり乗用車用タイヤに比べて騒音レベルが高い。

このように騒音に関してはトラック・バス用タイヤは乗用車用タイヤよりずっと高いのでこの騒音の低減は大きな課題になって来た。このため現在トラック・バス用タイヤではリブパターンが多くなってきた。これは市街地などにおける騒音被害の低減のため騒音の低いパターンになって行ったといえる。環境不快要素

の除去と言える。

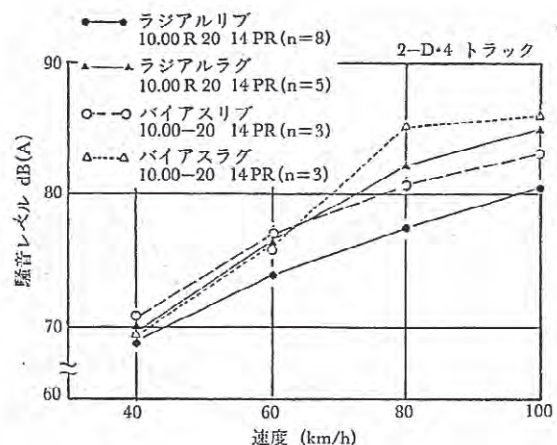


図 6.31 各種トラック・バス用タイヤの騒音レベル⁷⁾
(各所で実施した測定値を基準タイヤを介して補正) (実車惰行試験)

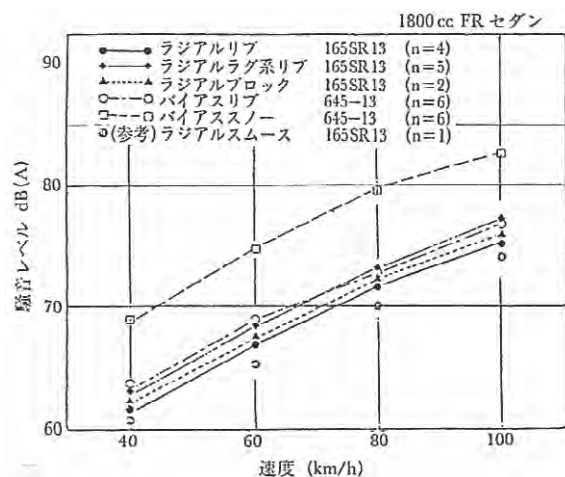


図 6.32 タイヤの種類と騒音 (実車惰行試験)⁸⁾

6.3.2 まとめ

以上のように、戦後のタイヤ技術の発達のなかで、振動、騒音のような感覚、感性要素に対しては、生活が快適を求めるようになって来るほど不快感除去の要求が大きくなってきた。この分野は近年研究手法の進歩に伴って大いに進歩してきた。ここで述べた感覚、感性要素の重要性は増しているが、どのようなタイヤ開発がなされているかについて各社の出願特許を見ても騒音や乗心地開発については、トレッドのデザイン、溝配置などの設計要素が主になっている。騒音に関するパターン設計の膨大な特許も出ている。引用文献には騒音と振動を組み合わせた特許を示してあるがほとんどは構造設計技術である⁹⁾。

振動や騒音など周波数との関係で、ある特定の周波数で極端に高くならないように平均的に均すような操作が重要であるが、これらはコンピュータの発達によってさらに発展して行った。騒音、振動、ハーシェ

ネスという不快要素が研究されたということは、社会の進展と大いに合致した技術発展と言える。またタイヤが成熟化してきた結果とも言える。

引用文献)

- 1) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成4年6月 p76
- 2) 「自動車用タイヤの研究」：横浜ゴム株式会社編 山海堂 平成7年 p197
- 3) 「自動車用タイヤの研究」：横浜ゴム株式会社編 山海堂 平成7年 p195
- 4) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成4年 p82
- 5) (社) 日本自動車タイヤ協会：タイヤ道路騒音について 第4版 1991年6月
- 6) 服部六郎：「タイヤの話」大成社 平成4年 p79
- 7) 「ゴム工業便覧」＜第四版＞平成6年1月 p761
- 8) 「ゴム工業便覧」＜第四版＞平成6年1月 p762
(社) 日本自動車タイヤ協会編：タイヤ道路騒音について 第4版 1991年6月による
- 9) 例えば、騒音 / 振動の構造設計に関する出願特許：特開ナンバ
平 05-058119 (BS) サイド部に補強層配置
平 06-001109 (住友) ベルト層の最適構成
平 06-171315 (横浜) ブロックとラグ溝の組み合わせ 平 06-262909 (BS) ショルダー溝に開口するサイプ配置 平 07-061207 (住友) サイドウオール部内面に凹凸を配置 平 07-205614 (BS) ブロック陸部表面で縦溝の振動を制御 平 08-337102 (BS) 方向性低傾斜溝を配置 平 07-276914 (住友) 圧電材による制振 平 10-086611 (BS) 溝側壁に緩衝壁を配置 平 10-147113 (BS) サイド、ショルダー間にくぼみを配置 平 10-166809 (横浜) サイド最大幅付近に凹部配置 平 10-291403 (東洋) ベルトの上、リブの下に補強層を配置 平 11-059136 (東洋) サイド補強層を配置 平 11-091314 (BS) 傾斜溝が中央方向溝にある角度で配置 2000-016030 (横浜) サイド部分のくぼみ配置 2000-158916 (BS) サイプ入りの溝配置 2000-233609 (東洋) 動吸振器の突出器の配置 2001-191743 (BS) カーカスサイド部二層配置 2001-239809 (BS) トレッド内の空洞と周溝の連結で気柱共鳴対策 2002-019423 (BS) ブロック配置の設計 2003-011617 (BS) センターブロックの蹴り出し側踏み込み側非対称に配置 2003-260906 (BS) 特定の幅を持ったベルト層幅方向に間隔を持たせる

2004-351970 (BS) ピッチ配列 2005-145429 (住友) ベルト・カーカス間にクッションゴム配置 2006-199101 (東洋) ブロックをショルダーからサイドへ延長 2008-024256 (横浜) カーカスのビード部側に補強層配置 2009-107448 (横浜) 二層のショルダーカバー配置

[略称] BS：ブリヂストン 住友：住友ゴム

横浜：横浜ゴム 東洋：東洋ゴム

6.4 統合化の時代—統合化の時代のラジアルタイヤの成熟化時代

6.4.1 理論の時代の到来

(耐久性、運動性能；燃費 グリップ 感性；音振動、乗り心地などの性能の同時達成を入れ込む理論化)

現状では耐久性→運動性能→感覚、感性に向かっての手法、打ち手の寄与と見ると材料要素から構造設計要素へと重点が移ってきている。しかしながらこのような手法下では、耐久性は材料要素、感覚、感性は構造設計要素といったように手法の範囲が相対的には狭いことになる。

このことに関して 1980 年代以来日本のタイヤメーカーが次々とタイヤ設計理論を発表してきた。従来主として材料設計要素によると考えられていた耐久性、転がり抵抗などに設計要素が入ってきて相互の関係を成立させ背反事象を新たな展開で突破するという局面が開けてきた。これらの理論においては、主としてタイヤの形状設計について、空気を充填する、負荷をかけるといった、より走行時に近い状態をあらかじめ想定して設計するなどしている。つまり使用時の張力分布を考慮して、タイヤの形を変えておくなどの考えが出されているのである。この結果従来主として材料設計要素と考えられていた耐久性、転がり抵抗などに設計要素が入ってきて相互の関係を成立させ背反事象を新たな展開で突破するという新たな局面が開けてきた。要するに従来材料要素とされていた性能にも構造設計要素で解決するという大きな飛躍を遂げる提案をしている。しかもこの時期各社とも発表している。

構造設計者が主として自分の担当分野である、騒音、振動、乗り心地、操縦安定性などに加えてカーカスの張力コントロールによる耐久性、転がり抵抗までを検討の範囲にしている。

これらの理論化はコンピュータの発達とも同期している。スーパーコンピュータの時代になって結局どの材料をどのように構成し、ゴム系複合材 FRR (Fiber Reinforced Rubber) を成立させるか、特に感覚、感性の世界では振動、騒音などの特性には、周波数や音

圧などの物理定数をはじめとするあらゆる要因が絡んでくるので、複雑さは大幅に増して行く。そこでこのような特性が重要視されるほど、高度な計算が必要になり、大型コンピュータと有限要素法の世界になって行った。

世界のグローバル化が進むと使用条件の拡大が起こりタイヤも多様化せざるを得なくなり、技術も多様化が進むがそれが進むと総合化が必要となる。このため材料設計要素と構造設計要素の相互関係を考慮して材料／設計を統合化する必要があった。さらに耐久性＋

運動性能に感覚・感性要素をすべて加えて理論化するというタイヤ設計理論の時代になった。この全ての要因のいずれも犠牲にすることなく要因間の妥協点を見いだして、バランス化して行くという作業はむしろ日本人に合った作業であった。それと先端的技術であるコンピュータ設計という合体は総体には有利に働いた。それゆえこの時代の統合化に関する日本の技術レベルは、世界的にみてもトップクラスであろう。次に各社の理論を示す。

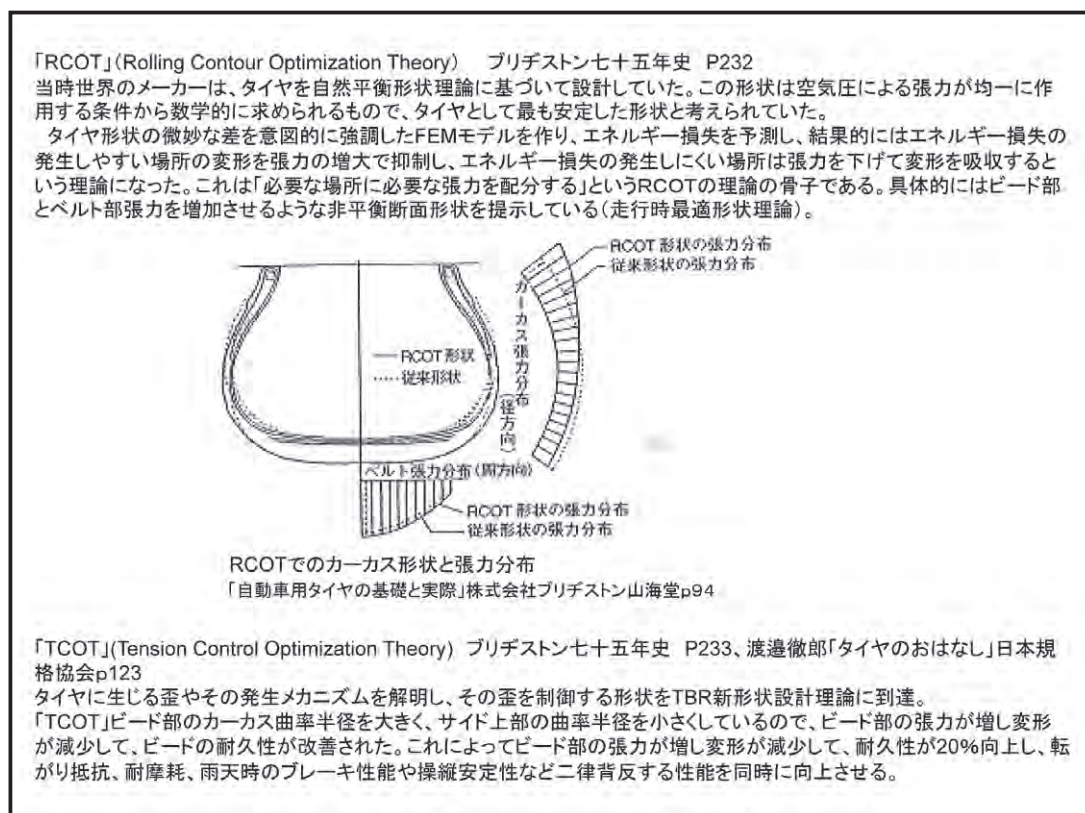


図 6.33 『ブリヂストン七十五年史』(株式会社ブリヂストン 2008 年 5 月) ¹⁾ p232、p233

「Donuts(ドーナツ)」(Driver Oriented New Ultimate Tire Science)ブリヂストン七十五年史 P305
「Donuts(ドーナツ)」は「GUTT(Grand Unified Tire Technology:自動進化設計法)」「O-Bead(真円性向上ビード)」「LL(Long Linkage:長連鎖)カーボン」の3つからなる技術である。

「GUTT」とはコンピュータにシミュレーションさせ、目的とする最適な性能を得る手法である。「O-Bead」とは、リムとタイヤがよりリムとタイヤがより真円に近い状態でフィットするビード形状であり、タイヤの直進安定性を高めるものであった。「LLカーボン」とは、カーボンの粒子同士の連鎖を高めることにより、本来二律背反の関係にある耐摩耗性向上と転がり抵抗低減の双方を実現した新カーボンであった。

「AQ DONUTS」(Advanced Quality of DONUTS) 同P326

タイヤの摩耗進行によりおこる性能低下のうちとくにウェット性能を防ぐための2つの技術を採用

- ・「AQコンパウンド」ゴムの硬化を抑制する配合剤使用
- ・「トレッド・イン・トレッド」半分ほど摩耗した時点から、除々に性能低下を抑制するゴムが現れ、ウェット性能などの性能低下を抑制するものである。

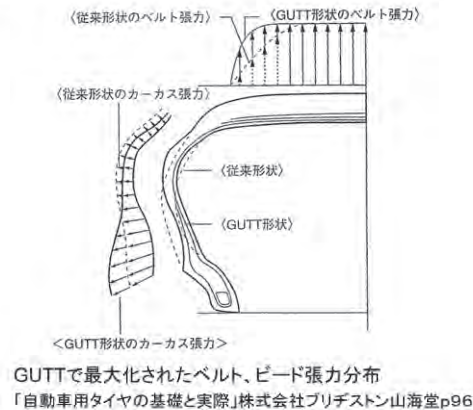


図 6.34 『ブリヂストン七十五年史』(株式会社ブリヂストン 2008 年 5 月) ²⁾ p305、p326

「PSP-Y」(住友ゴム100年史)P376 1996年(平成8年)搭載タイヤ発売p376

トラック・バス用タイヤに対する要求性能が、従来の「重荷重に耐えられる頑丈さ」から「走行性」「メンテナンス性」「経済性」へと変化しつつあったことに応える新技術である。

- ・ゴムとカーボンとの結合を強化し、「ライフ・走行性能」を向上させる「微粒子カーボン」の採用
- ・走行によるタイヤ寸法変化を抑制し、「耐偏摩耗性」を向上させる「フラットスムーストレッド形状」設計
- ・タイヤの溝から発生する音を分散し、「低騒音化」を図ると同時に、「耐偏摩耗性」も向上させる、独自の「カオス理論」によるトレッドブロック配列設計
- ・タイヤをホイールに組み込む際の「リム組み性」と、空気を充填する際の「エア入り性」を向上させる「新ビード構造」設計

「DECTES」(デクスト:Dunlop Energy Control Technologies)へと進化。P440

タイヤ接地分布の適正化により、摩耗エネルギー分布を均一にし偏摩耗を抑制することで「省メンテナンス」を、トレッドゴムに活性の高いカーボンを採用して「ライフの向上」を、タイヤ転動時に発生するエネルギーロスを抑制して「低燃費」を実現した。

「デジタル・ローリング技術(Digital Rolling Simulation: DRS)」→「デジタイヤ」同P382

トレッドパターンはもちろん、タイヤ構造の細部まで実物を忠実に再現したタイヤモデルを転動させ、解析する。

4種のシミュレーション

- ①接地形状/接地圧シミュレーション: 200/hで走行中のタイヤの接地面を見ることができる「デジタルプロファイル」
高速走行時に広い接地面積を持ち、優れた高速操縦安定性を実現することにつながった。
- ②摩耗エネルギーシミュレーション: タイヤがどの部分から減っていくかが見える「デジタイヤパターン」
転動中の接地面積内で摩耗エネルギーが均一になるブロック形状で偏摩耗を抑制し、ロングライフを約束。
- ③ゴム配合シミュレーション: デジタイヤはどんな路面でも走らせることができる「デジタイヤシリカ撥水ゴム」
夏用の撥水ゴムにウェット用にシリカ、ドライ用に微粒子カーボンを適切に配合し、ウェットグリップとライフを両立。
- ④ノイズ/振動シミュレーション: 走っているタイヤの音が聞ける「デジタイヤカオス配列」
規則性と不規則性が適度に混ざった配列で、規則性が必要な偏摩耗防止と不規則が必要なノイズの低減のバランスを達成。

図 6.35 『住友ゴム 100 年史』(住友ゴム工業株式会社 2009 年 12 月) ³⁾ p440、p382

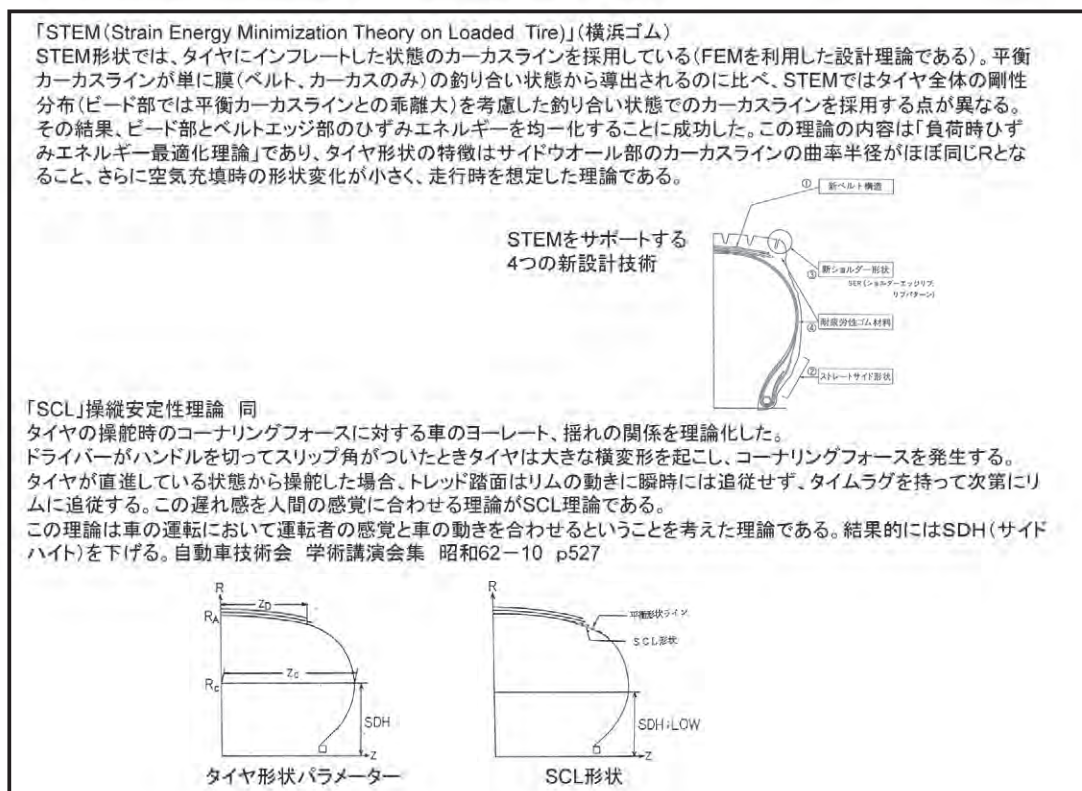


図 6.36 横浜ゴム株式会社 MOTOR VEHICLE VOL38 NO4 54 (STEM)⁴⁾
 自動車技術会 学術講演会 昭和 62 年 10 月 (SCL)⁵⁾



図 6.37『東洋ゴム工業 50 年史』(東洋ゴム工業株式会社 平成 8 年 3 月)⁶⁾ p241、p288

引用文献)

- 1) 「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008 年 5 月 p232 p232
- 2) 「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008 年 5 月 p305 p326
- 3) 「住友ゴム 100 年史」住友ゴム工業株式会社 2009 年 12 月 p440 p382
- 4) 横浜ゴム株式会社「MOTOR VEHICLE」VOL.38 No.54
- 5) 花田亮治：自動車技術会 学術講演会 昭和 62 年 10 月 要旨 p527
- 6) 「東洋ゴム工業 50 年史」東洋ゴム工業株式会社 平成 8 年 3 月

7 | 性能付加を要求されるタイヤに関する各論的記述

前章まではタイヤの一般特性について系統化を議論してきた。つまり耐久性、運動性、騒音、振動性などのタイヤ一般に必要とされている性能の技術の歴史と系統化について述べた。しかしタイヤの中には一般のタイヤと異なって、さらに極限的な特殊性能の付加を要求されているタイヤがある。ここで航空機タイヤ、建設用タイヤ(高耐久性)、自動二輪車用タイヤ(構造)、スタッドレスタイヤ(雪氷摩擦)についてその特殊性能の達成についての沿革について論じる。

これらのタイヤは要求性能に関する挑戦課題を持っていた。

7.1 耐久性の高度要求

7.1.1 航空機用タイヤ—高耐熱疲労性

航空機用タイヤは離着陸の時のみ必要である。

航空機用タイヤは航空機が滑走路面に着陸する際の衝撃を緩和し、かつ航空機を安全に停止させる機能をもたせることが重要である。そのためには、タイヤは充分な負荷能力を持ち、航空機の離着陸速度に耐え、かつ路面との摩耗にも良好に耐える適切な構造を持つものでなければならない。航空機タイヤは、航空機の性能(重量、離着陸速度)、滑走路面状況、天候状態、ブレーキのかけ方などにより使用回数が決まる。トレッドパターンは周方向につながった4本から6本の溝からなるリブタイプが一般的である。200～300回の離着陸で摩耗し、溝がなくなって交換される。さらに多くは摩耗したトレッドを除去し、新しいトレッドを載せる更生を行う。この更生を約5～6回繰り返す。

着陸のときは接地の瞬間にタイヤは大きな垂直の衝撃を受け、飛行中は停止していたタイヤが急速に回転させられたために接地の時の滑走路面との間で大きな接線方向の加速力を受け激しくこすられる。一般タイヤと比較するとつぎのような特徴がある⁹⁾。

- ①航空機用タイヤはたわみが大きい。—静負荷時のたわみはタイヤの種類により異なるが、30%前後(23.5～40%の範囲であり、一般の自動車用タイヤの約2～3倍大きい)。このことは離着陸、特に着地時のショックの緩和に役だっている。
- ②負荷が極めて大きい—機体重量をなるべく軽くするために、タイヤの重量および大きさが極力抑えられるので、タイヤの大きさのわりにタイヤの負荷は極めて大きい。

- ③高速性能に優れる。—航空機の離着陸時の最大速度は約400km/hにも達するので高速時のタイヤの安定性ないし安全性が要求される。

- ④良好な耐寒性—冷寒地飛行場や成層圏航行中格納使用するため、 -40°C ～ -50°C にも耐える材料が要求される。しかも着陸時には低温で硬くなっていたタイヤが急回転を受けるという過酷さである。

航空機用タイヤの種類は小・中型またはプロペラ機用の低圧タイヤ、ジェット機用の高圧タイヤ、新設計機用の扁平タイヤ、ヘリコプタータイヤなどに分類されている。寸法的には大型機用のタイヤの外径56インチ(約1.4m)から小型機用タイヤで12インチ(約0.3m)のものまで多種類ある。

航空機タイヤでもバイアス構造とラジアル構造があるが、ラジアル構造が選定されることが主流になって来ている。しかし、全体としてはバイアス構造が依然として主流であり、ナイロンコードを20層以上重ねて安全性を確保している。また、ゴム材料も低温性能を考慮して、天然ゴム系が用いられている。航空機の場合、一度機体が開発されるとその機体が退役するまで20年～30年同じ構造のタイヤが装着され続けるので急には変わらないのである。今後はラジアルタイヤの高耐久性、軽量、高ランディング性がわかって来ているのでラジアルタイヤに代わって行くであろう。

航空機タイヤの高耐久性は、高度な耐熱性、耐疲労性を要求されるが、高破断物性、低発熱性を要求されるので、ゴムとしては天然ゴムが主流である。航空機タイヤは、タイヤのなかでも戦前の戦闘機などの時代から長い歴史があり、その上に築かれていると言ってよい。安全性に対する要求が最も強いので、仕様の変化は急激には起こらない。タイヤの技術としては耐久性が重要な分野である。

(航空機タイヤの外観は第一章図1.2参照)

7.1.2 建設車両用タイヤ—高耐熱性

建設車両用タイヤ(以下OR、Off-the Road Tire、タイヤ)はスクレーパ、ダンプトラック、モータグレーダ、ショベルローダ、タイヤドーザ、タイヤローラ、ホイールクレーン、高速クレーンなど、土木建設現場、鉱山などで使用される建設機械用タイヤである。これらの車両が使用される路面は碎石地、岩盤地、泥濘地などの悪路から、舗装公道の良路まで、多岐に渡っている。機械で土を掘り、運び、削り、ならすといった

作動を助けるものである。

ORタイヤは、トラック・バス、乗用車タイヤなどと異なり、一般的な舗装路よりもむしろ砂利、岩石などの多い非舗装道路主体に走行し、積車時重量も大きく、寸法的にも通常的大型トラック・バス用タイヤなみのものから外径が4m以上、重量7ton以上といった巨大なものまである。使用条件が広範囲にわたるため、その用途に応じて構造、ゴム材質、パターン、が決められている。タイヤ構造は、ラジアル構造とバイアス構造があるが、近年はラジアル構造が耐摩耗性、耐カット性、耐発熱性等に優れることから、その比率が増大している。なかでも使用速度が速いダンプトラック用、ホイールクレーン用では、ラジアル構造が大半を占めている。トレッドゴムは耐摩耗性、耐熱性にすぐれた天然ゴム系配合、耐カット性にすぐれた合成ゴム系配合ゴム等を使い分けている。結局、大型タイヤで、悪路走行対策、厚いタイヤの耐熱性などが基本性能となっている⁹⁾。

とくに建設車両においては鉱山で使用されるようなダンプトラックにおいて、運搬効率向上のために積載量を大きくし、大型車化している。この種のタイヤにおいては約20年前に比べて、タイヤ1本で支える荷重は2倍以上になって来ている。1960年代と比較すると10倍である¹⁰⁾。しかしタイヤ外形が大きくなると車両の重心が高くなって操縦安定性を阻害するため、偏平化している。このことによってエアボリューム当たりの荷重付加率を上げて外形を大きくしないように抑えている。ただしこれを実現するために、耐熱性、耐摩耗性、耐カット性を抑制するさらなる技術が必要となり、新構造、新材料等の技術が求められている¹⁰⁾。

このタイヤの開発に当たっては、トラック・バス用のタイヤを大きくしたというような開発ではない。肉厚のタイヤの加硫時の長時間にわたる加熱時間と耐ゴム劣化性、走行時の発熱対策、悪路を走るためのトレッドのカット対策などこのタイヤならではの重点項目をクリアするための研究が多方面からなされてきた。

(建設車両用タイヤの外観は第一章 図1.2 参照)

7.2 特殊な操縦に対応するタイヤ摩擦面の広がり

7.2.1 二輪自動車用タイヤ

二輪自動車用タイヤは、一般公道用タイヤと競技・非公道用タイヤに分類できる。

走行中の二輪車用タイヤが四輪車用タイヤと違うのは、タイヤの横剛性やキャンバースラスト(タイヤを傾けて走行させるときに発生させる横方向の力)で

曲がることである。このためトレッド半径を小さくし路面と接地する部分がタイヤショルダ部まで達しており、この部分までトレッドパターンが刻まれている(図7.1 参照)。タイヤ構造は乗用車用タイヤと同様ラジアル構造が主流になってきたが一部悪路用タイヤやファミリーバイク用ではバイアス構造を採用している。

四輪自動車タイヤと二輪自動車用タイヤの使用条件は、次の2点が異なる⁸⁾。

- ①荷重の小さい割に空気圧が高く、そのため接地面積は小さい。乗用車の半分程度である。
- ②接地面積が小さい割に、駆動力を発生させるエンジン馬力が大きい。接地面積が小さい割にはタイヤが受ける駆動力が大きく単位面積当たりの馬力負荷は車種によって小さいものから大きいものまであり、大型二輪車用では乗用車の約2倍、トラックの約5倍と過酷な条件で使用される。

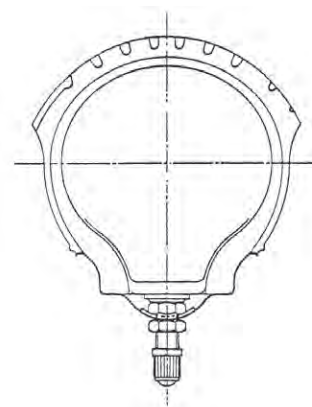


図 7.1 二輪車用タイヤ断面図¹¹⁾



図 7.2 二輪車用タイヤ¹²⁾

(1) 公道用タイヤ

一般公道用タイヤは大別すると良路用タイヤと良路用/悪路用とがある。いずれも全天候に対応するように考えられている。トレッド面における溝の配置が重要なポイントである。

良路／悪路兼用タイヤは、悪路での走破性能を重視しブロック系のパターンを採用している。良路でも安定して走行できるようにブロックパターンが詰まったものになっている。

(2) 競技・非公道用タイヤ

①競技用ロードレース用タイヤ

オートバイによる競技には、ロードレース、モトクロス、トライアルの三大競技がある。

②ロードレース用タイヤの特徴

1. 高速時の安定性を増すために、後輪用として偏平タイヤを用いる。コーナリング時のすべりを防止する。
2. 高速時のころがり抵抗が極力少なくなるように、タイヤの剛性を適度に強くし、トレッドデザインをリブタイプにして肉厚を薄くしている。
3. 高速走行に耐えるために耐摩耗性、耐老化性の高い特殊なトレッドゴムを使用している。

舗装路を高速で走るのであるから、ホイール全体のバランスを完全にとる必要がある。

また、走行開始直後にタイヤ空気圧が急激に増加するので、高圧になるところがり抵抗は低下するが、ロードホールディングが悪くなる。開始時の圧力調整は十分に注意しなければならない。気候、温度、道路条件、タイヤの特性、車の特性などにより、適当な圧力を決定しなければならない。

③モトクロス用タイヤの特徴

非舗装地において行われるレースには、ほとんどト

レッドを極端に突出させたブロックデザインであって、地面に食い込みながら走る。

横滑りを防ぐために前輪もややリブ的なブロックデザインを使用している。後輪はできるだけ太いサイズを選び、やわらかい土の上でも路面をしっかり把握できるように（接地面積を大きくするために）、タイヤ空気圧も低圧で使用する。

以上のように他のタイヤと同様ラジアル化とともに現在まで発展して来た。

7.3 雪氷上の摩擦性能向上

7.3.1 スタッドレスタイヤ

スタッドレスタイヤは日本の北国の事情から発生したカテゴリーである。このタイヤは交通量の多い雪国で起こるスパイクタイヤによる粉塵問題から発生したが、タイヤの冬性能、特にゴムの低温性能などの新たな技術領域が開拓された。

北国の冬の車の走行におけるスパイクタイヤは雪氷上の走行安定性については高い性能を確保していたため普及していたが、1980年代に粉塵問題が取り上げられ、地方自治体を中心に積極的なキャンペーンが展開された。

図7.3に示すように冬場での粉塵が多いことがわかる。すなわちスパイクタイヤ禁止前の時期では、スパイクタイヤ装着時期と粉塵量は一致していた。これはスパイクタイヤのスパイクが路面を削って粉塵をまき散らすからであった。

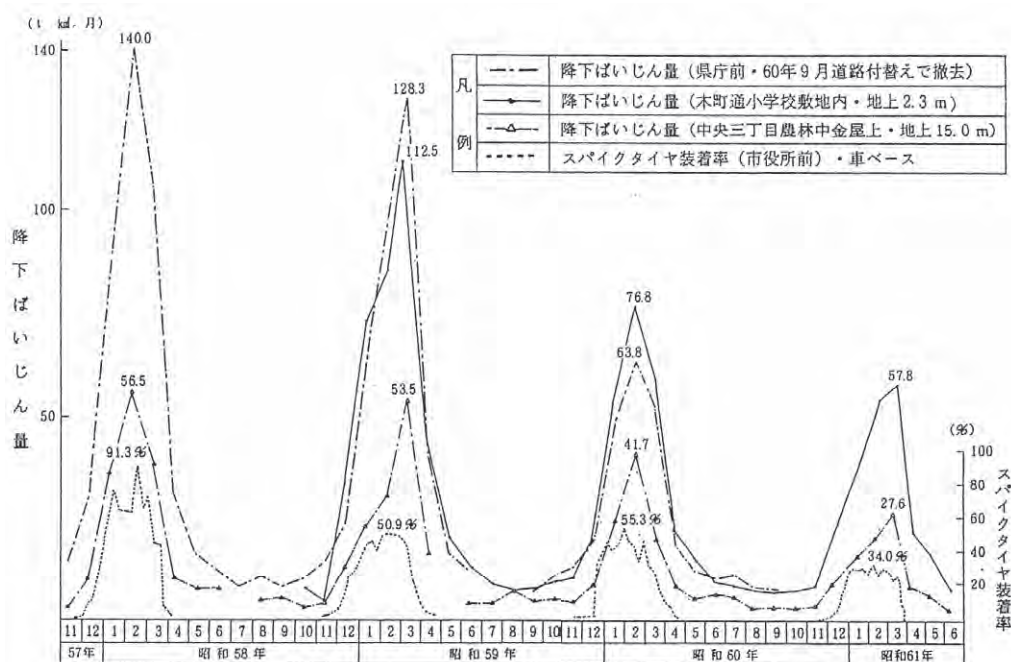


図7.3 仙台市降下ばいじん量とスパイクタイヤ装着率の推移¹⁾

1988年6月には市民／タイヤ業界の間に調停が成立し、スパイクタイヤは1990年末で製造中止、1991年3月末で販売中止が決定された。1986年頃からスタッドレスタイヤの販売量は急速に伸びて 乗用車のスタッドレスタイヤ販売量はスパイクタイヤを逆転した。

乗用車用タイヤにおいては1991年度には98%に達するなど急激なスタッドレス化が進んだ。

(1) 雪氷路面の摩擦力

スタッドレスタイヤでの雪氷駆動力、制動力は図7.4に示す雪柱せん断力 F_B (パターン溝部に入って固まった雪柱をせん断する力)、ゴムの摩擦力 F_C (路面とパターン表面に働く摩擦力)、エッジ効果 F_D (ブロックやサイプのエッジが路面の雪氷を掘り起こす) の合計で表せる。これらの制動力に関する雪氷面の各せん断力の寄与は異なる。

溝の体積は発進時の雪氷せん断力と相関し、掘り起し摩擦力は転動時のエッジ効果との相関が高く、エッジの量が一定ならばサイプ (トレッド上の細かいきざみ) を開きやすくすることで除水効果、掘り起こし効果を高めることができる。

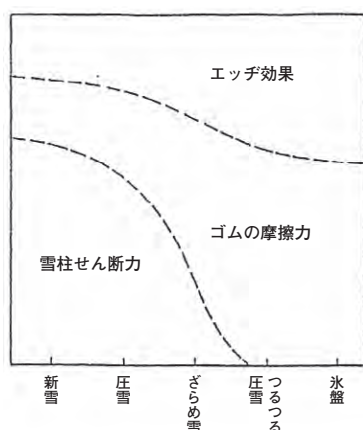


図 7.4 氷雪路面のタイヤ摩擦力寄与率 (概念図) ²⁾

(2) 摩擦力向上策

①凝着・粘着摩擦力

これは氷雪路面とトレッドゴムの分子結合などの分子レベルで起こる凝着力で、摩擦力を高める方法としてタイヤ路面の接地面積を大きくすること、および特殊ゴムの採用が考えられる。トレッドゴムの硬度を低くすれば凝着・粘着凝着力 (F_A) を上げる効果はあるが、あまり低くしすぎるとブロックの変形によりブロックが倒れてしまい、逆に摩擦力が低下するので、最適な硬さがある。

②掘り起こし摩擦力

トレッドパターンのブロックのエッジにより路面を引っかく、または、破壊することによる摩擦力である。しかし、この摩擦力においてもブロックを小さくして、ブロックを増加させればエッジの数は多くなるが、逆に、ブロックの剛性が弱くなり、ブロックの変形が大きくなって実接地面積が小さくなることで摩擦力の低下をきたす。

タイヤのサイズによりブロックの大きさ、サイプ数、ゴム硬さ等の間で最適値があると考えられる。

③排水・親水摩擦力

排水については、サイプを有効に働かせることにより $-5^{\circ}\text{C} \sim 0^{\circ}\text{C}$ における擬似液体層、すなわち水膜を排除することで摩擦力を上げる効果があり、氷上性能を上げる有効な手段である。これも多用するとブロックの変形が大きくなり逆効果になる。親水については主としてゴムの効果と考えられる。

凍結路面は摩擦係数が低く非常に滑りやすいが、それは氷表面の擬似液体層が摩擦熱等により容易に水膜に変化し潤滑膜として働くためである。

④特殊ゴムの採用

マルチセルコンパウンドとは、図7.5で示すように多数のミクロな独立気泡と、ミクロな気泡と組み合わせると最適なタイヤ性能が発揮できるように工夫された特殊コンパウンドから成り、多数の細胞を持つゴム配合物の意味で命名された。特徴は以下のようである。

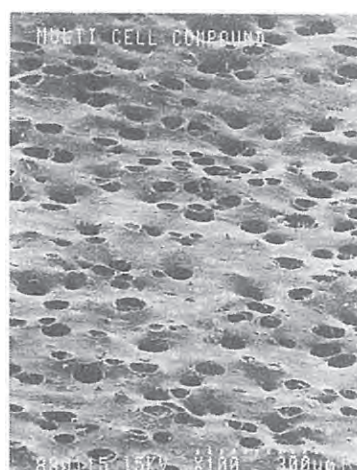


図 7.5 気泡を含むゴム (マルチセルコンパウンド) ³⁾

- 1) ミクロな独立気泡によりもたらされるトレッドゴム表面のミクロ凹凸が、滑りにより連続的に発生する水の逃げ場を提供し、サイプとサイプの間においてもミクロな水膜の生成を防ぐ。

- 2) 更に、このミクロな凹凸が氷をひっかき掘り起こし効果 F_D を向上させる
- 3) ミクロな気泡によりゴムの硬さを低下させ、低温でもしなやかさを失わない（→接触面積の増大による粘着摩擦力 F_A の向上）
- 4) タイヤが摩耗しても新しい気泡が次々に現れ上記1)、2) の効果を持続できる。

⑤特殊配合によるミクロ的排水

粘着摩擦を向上させるには軟らかいゴム質が好ましいが、ゴムと路面の間にある薄い水の層をより排除することも有効である。更にこのためにゴムの表面にミクロな凹凸を設けることは効果がある。例えばゴム表面をサンドペーパーでこすった後氷上摩擦を測定すると、粗いサンドペーパーほど氷上摩擦は向上する。これはミクロな凸部が氷膜を突き破って直接水面に接触することが可能になるからである。逆に言えば水を排除しているとも考えられる。

発泡ゴムも表面を凹凸にさせる手法のひとつである。そのタイヤでの効果も示されている。

トレッドブロックの変形を防ぐために短繊維を加える（図 7.7 参照）とブロックに沿って配置し、トレッドブロックを補強する。この補強の現象を示したのが図 7.6 である。

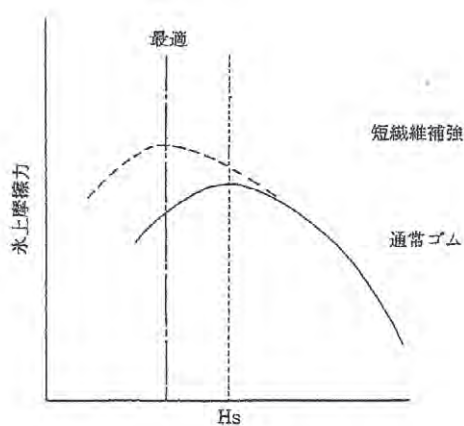


図 7.6 氷上摩擦力への短繊維補強効果⁴⁾

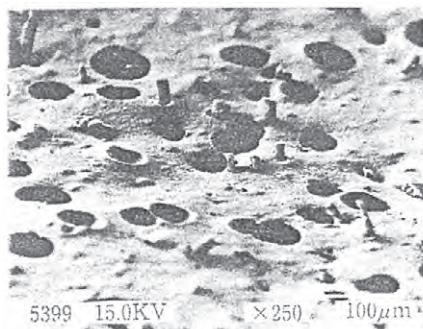


図 7.7 短繊維と気泡を含むゴム表面⁴⁾

気泡+短繊維は凹凸効果によって排水効果を持つが、ゴムが軟らかくなることによるブロックの倒れを短繊維によって防ぐことができる。これによってより軟らかいブロックでも氷上の摩擦をあげることができる⁶⁾。

また胡桃粉のような配合物を入れたコンパウンド（マイクロビット・コンパウンド）の有効性も示されている（図 7.8 参照）。いずれも表面凹凸による排水性の確保をねらったものと考えられる。

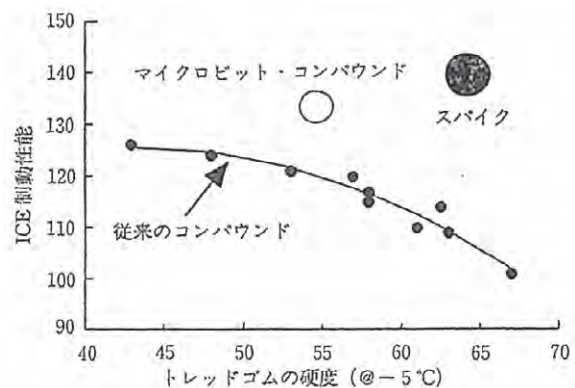


図 7.8 マイクロビット・コンパウンドの効果⁵⁾

また繊維状のものを硬くしてゴム中に配置させる例として、グラスファイバーを入れるという手法もある。これはアスファルト路面より軟らかく、氷より硬い素材でグラスファイバーを接着剤とともに練り込み「ひっかき効果」で氷と摩擦力を上げるものである⁷⁾。

⑥ゴム質と凝着摩擦力

凝着摩擦力は前にものべたように冰雪路面とトレッドゴム間の分子結合等の分子レベルで起こる凝着力が主因である。この凝着力を高めるためには路面のミクロな凹凸に忠実に追随し、ゴムと路面をミクロ的によく接触させることが必要である。このためには水面のような低温でゴムをしなやかにしておくことが重要であり、そのことを達成させるために低温でも軟らかさをできるだけ保持するゴムを使用するのが一般的である。それゆえ低温でも硬さを低く保つために、ガラス転移温度（ T_g ）が低いポリマー（たとえば天然ゴム、ブタジエンゴムなど）を使用したり、低温可塑剤を使用することによって使用温度で硬くならないようにしている。

1) ゴム硬さとトレッドブロック硬さの交互作用

ブロックの大きさサイズの数、ゴム硬さの間で氷上性能に対する最適値がある。

図 7.9 にはゴム物性と氷上 μ の関係を示した。この実験はトレッドブロック一つを採り出して横にずらして氷上の μ の測定を行った。この図からわかるようにゴ

ムブロックにかけた面圧を変えた時、どの面圧でも硬度に対してピークを持っている。そのピーク位置は面圧が高いほど、高硬度側にシフトしている。つまりブロックをずらした時あるピーク位置より軟らかくなると面圧に負けて倒れるので接地面積が減少する。一方では、ゴムが軟かいほど接地性がよく、摩擦力は高くなる。したがってトータルの摩擦力はゴムの軟かいことに起因する。倒れとの兼ねいで決定される。つまりタイヤにかかる面圧が高いトラック・バスの硬度は面圧の低い乗用車に比較して高くなくてはならない。

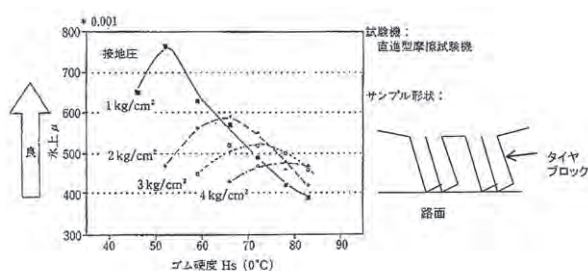


図 7.9 トレッドブロックのゴム物性と氷上 μ の関係⁴⁾

⑦パターンによる摩擦力

1) 水膜の排除

さらにサイピングのような細かい溝を配置することもスタッドレスタイヤの基本的設計手法となっていた。

路面とタイヤ表面との間に発生した水膜を破断し掘り起こし摩擦を高めるにはパターンのブロック・サイプのエッジ効果が有効である。

図 7.10 の如くエッジ効果を引き出すためにタイヤ周上のピッチ個数やサイプ数を増加させると摩擦力は大きくなる。ピッチ個数が少ないと縦長ブロックとなり接地踏面内で発生した水膜に乗る領域が長くなるためである。サイプ数についても同様なことがいえる。しかし、各々の組み合わせの中で摩擦力はピークを持ち、過度にピッチ個数・サイプ数を増加させるとブロック剛性の低下とともにブロックが倒れ込み実接触面積の低下をまねく。

以上のようにスタッドレスタイヤは日本の国情から生まれた日本の技術によるタイヤと言えるが、トレッドゴムの開発とトレッドパターンの開発が主たるものであった。

このうちゴムの開発においては次の3点が留意されている。

- ・雪氷面にフィットするようにやわらかいゴムを使用
- ・雪氷面を引っ掻いて摩擦力を上げるための配合材を加える
- ・雪氷面に発生する境界層の水を除去するために気泡のような空洞を配置する

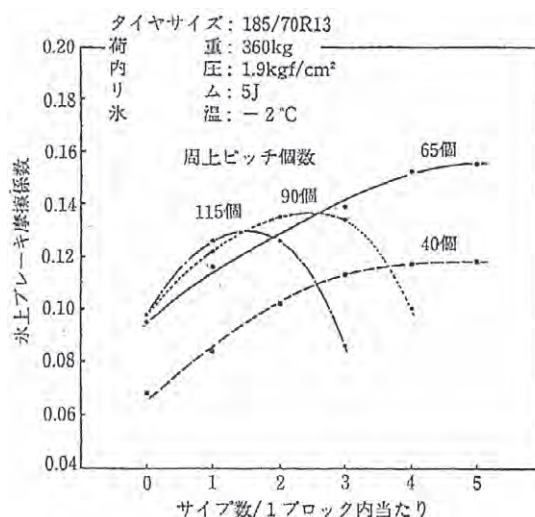


図 7.10 氷上ブレーキとエッジ効果³⁾

パターンの設計にあたっては、パターンエッジでの引っ掻き効果や軟らかいゴムを使用することによるパターンブロックの軟化を補強するようなパターン設計を行ってきた。

⑧まとめ

以上のような開発は、粉塵という環境問題対策が生んだ日本市場から生まれた商品として、確固たる地位を築き、現在では大きな市場となっている。また上に述べた研究題目は現在も各タイヤ会社で行われており、さらなる性能向上が図られている。

(スタッドレスタイヤの外観は第一章図 1.2 参照)

引用文献)

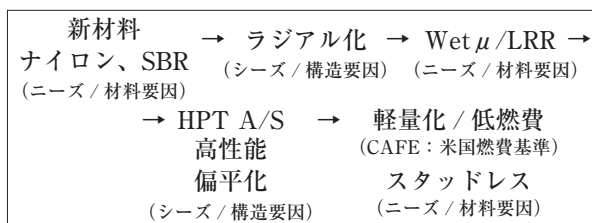
- 1) 「スパイクタイヤ粉じん発生防止法」 仙台弁護士会 平成 3 年 2 月 p13
- 2) 「ゴム工業便覧」 < 第四版 > 日本ゴム協会編 平成 6 年 1 月 p754
- 3) 「スタッドレスタイヤの開発 (乗用車タイヤ)」 坂本孝雄、平田 靖: 日本ゴム協会誌 65 p713 (1992)
- 4) 「スタッドレスタイヤの開発 (トラックおよびバス用タイヤ)」 友田 一、石川泰弘: 日本ゴム協会誌 65 p721 (1992)
- 5) 河野達也、上山浩章: 日本ゴム協会誌 69 p763 (1996)
- 6) 石川 泰弘: 日本ゴム協会誌 70 p198 (1997)
- 7) 「住友ゴム 100 年史」 住友ゴム工業株式会社 2009 年 12 月 p386
- 8) 「自動車タイヤの研究」 横浜ゴム株式会社編 平成 7 年 4 月 p47

- 9) 「自動車タイヤの研究」横浜ゴム株式会社編 平成7年4月 p56-58
- 10) 「自動車用タイヤの基礎と実際」株式会社ブリヂストン編 山海堂 2006年1月 p53の図2-7-3による
- 11) 「ゴム工業便覧」＜第四版＞平成6年1月 p772
- 12) 「自動車用タイヤの基礎と実際」株式会社ブリヂストン編 山海堂 2006年1月 p44

8 | 技術の流れ総括

図8.1 に技術の流れを示す。タイヤ技術を大きく分け、タイヤ会社の側から技術を提供し、商品開発を行ったものをシーズとし、社会からの要求によって発生した問題に対して、対策し、商品化したものをニーズとする。図に示したようにシーズとニーズは大きな流れとして変化しているが、2000 年頃まではシーズとニーズがほぼ交互に商品化されて現れていることがわかる。しかもシーズは構造要因、ニーズは材料要因という傾向があり、構造と材料が交互に現れた。

8.1 タイヤ開発におけるシーズとニーズ



戦後の新規材料（ナイロン、SBR）導入のあとの流れを見るとラジアル化が1970年ころから始まり、石油ショックの時期にWet μ （濡れ路面のグリップ）/ LRR（低転がり抵抗）の trade-off 回避技術が世界的規模で行われた。その後石油ショックによる低燃費開発がやや下火になった時にタイヤの高性能化（偏平化）がタイヤメーカー側から提供した技術として発足した。その後1990年代には新たな問題として地球環境問題から来る超低燃費、超軽量化、およびスタッドレ

ス、安全等非常に要求レベルの高いニーズの時代に突入した。

HPT（High Performance Tire；高性能：高グリップタイヤ）、偏平化を主体としたタイヤは、その前に位置していた低燃費タイヤ（wet μ / LRR）とはグリップや摩耗に対して異なるカテゴリーのタイヤとして認識されていた。しかし HPT 性を保ちながら超軽量化、超低燃費を達成しなければならず trade-off 回避技術としては非常に高いレベルが要求された。

また2000年以降現在に近づくほど HPT（シーズ）から超軽量化、低燃費（大ニーズ）への変化の転換点に、シーズでもありニーズでもあるユニフォーミティ、騒音、操安性などの開発項目が位置しており、これらのことを同時に満足させなければならないとなると、更に高い壁を乗り越えなくてはならないことになる。すなわち巨大な要求性能付加の時代となり、構造 / 材料の統合的な技術が必要となった。

この大ニーズ時代には、多性能を同時にバランスさせることが求められるので、このための手法として、1980年代から日本のタイヤメーカーが提唱して来た設計理論は有効であった。

8.2 今後の統合化の手法

今後の統合化の手法について図8.2に示すような取り組みが行われている。

スケール階層別タイヤ技術開発という考え方であ

タイヤのニーズとシーズの変遷

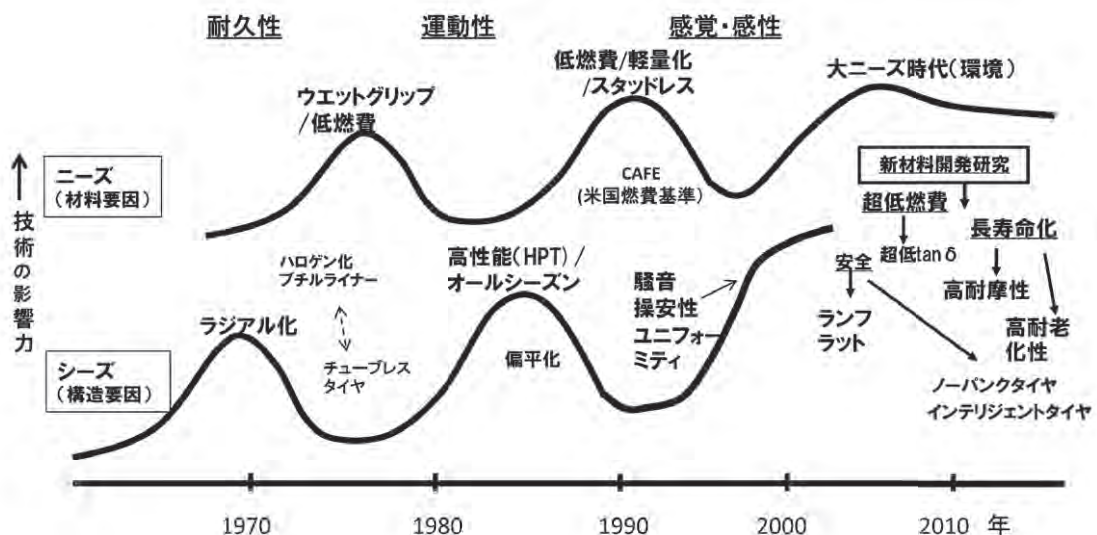


図 8.1 タイヤ技術の変遷¹⁾

スケール階層別タイヤ技術開発

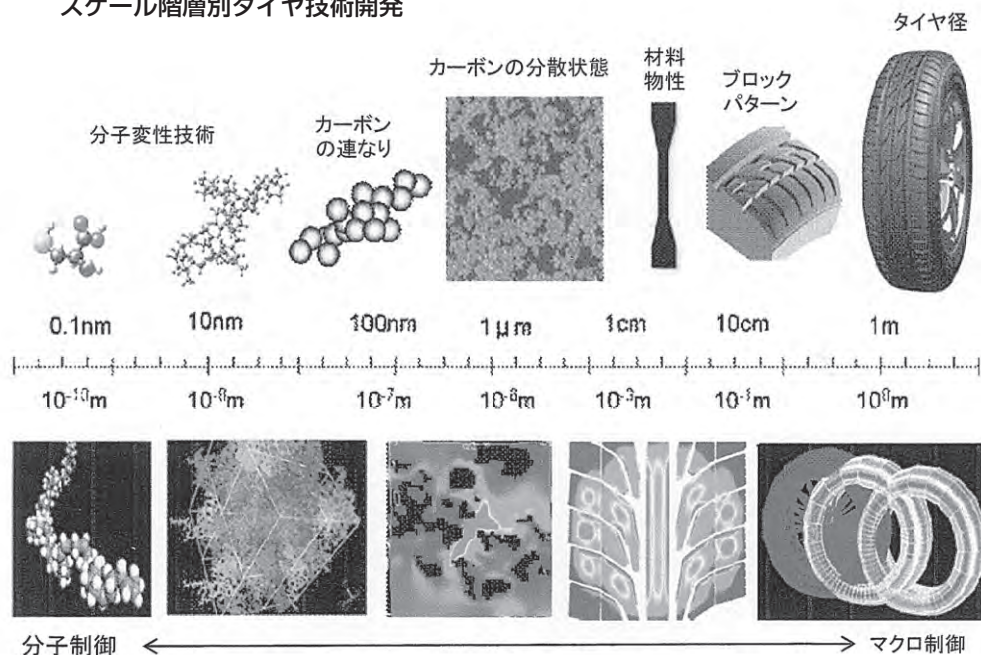


図 8.2 スケール階層別タイヤ技術開発²⁾

る。タイヤの構成は、ミクロにみれば、分子の反応制御というナノの世界になり、タイヤ表面のトレッドデザインの世界になればセンチメートルの世界になり、回転による負荷、無負荷の繰り返しのような転がり抵抗の世界ではメートルの世界になる。つまりタイヤはその性能発現がナノオーダーでの現象からメートルの範囲までに及んでいる。これら分子オーダーの制御からメートルオーダーの制御の全体をいかにどのようにコントロールするかが性能発現にかかっている。今後はこれらのパラメータをいかに計算に入れ込んでゆくかというのが性能発現の競争上で重要である。これらの考えも多く日本のタイヤメーカーは設計の基本として考えており、環境時代に対する手法として有効に働くと考えられる。

この技術的背景には、タイヤに求められる多くの要求特性、しかも多くの場合相互に背反事象になっている多特性をいかにバランス化させるかということがある、その基盤作りに邁進して来たと言える。その前提には日本の自動車メーカーの多さとタイヤメーカーの多さということがあった。このためタイヤ会社は多くの車メーカーから要求される多種類の性能向上要求をタイヤメーカー同士の競争下で達成せねばならず、結果的に要求性能を満足させる手法を見出して行ったと言える。その対応力の一つの結果がタイヤ理論と言える。

今後の性能発現の予想を『ゴム・エラストマーと未来の交通』ゴム技術フォーラムのタイヤチームが行ったのが次の図 8.3 である。2030 年時に 1980 年比で

Wet μ , 転がり抵抗とも 40% ぐらい改善するという予測である。

タイヤ性能変遷

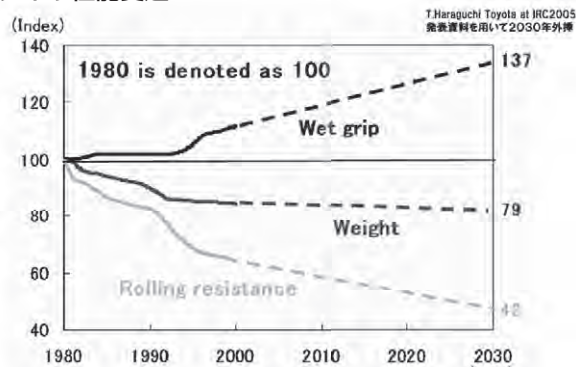


図 8.3 タイヤ性能の将来予測³⁾

現在のタイヤ技術は戦後の数々の技術の集大成としてほぼ確立した感がある。

これらの技術のなかで画期的な発展をもたらした技術で日本から発信したものはあまりなく、海外で発明された技術を高度に習得して最適化していったことができる。ただし多くの技術を取得し、バランス化して成熟度を上げて行く、例えばタイヤ各社が発表したタイヤ理論に見られるように成熟化レベルは高く、その意味で高いタイヤ技術を達成した国と言えよう。

現在は技術的には踊り場にいる感があるが、再び発展期にはいったときに日本の独自技術をいかに具現化させるかが次世代の勝負どころである。その萌芽も少し見えるが発展させるドライビングフォースが必須である。

引用文献)

- 1) 「ゴムエラストマーと未来の交通」日本ゴム協会
ゴム技術フォーラム 2010 年 3 月 30 日 p82 に少し加えた。
- 2) 「ゴムエラストマーと未来の交通」日本ゴム協会
ゴム技術フォーラム 2010 年 3 月 p75
- 3) 「ゴムエラストマーと未来の交通」日本ゴム協会
ゴム技術フォーラム 2010 年 3 月 p81

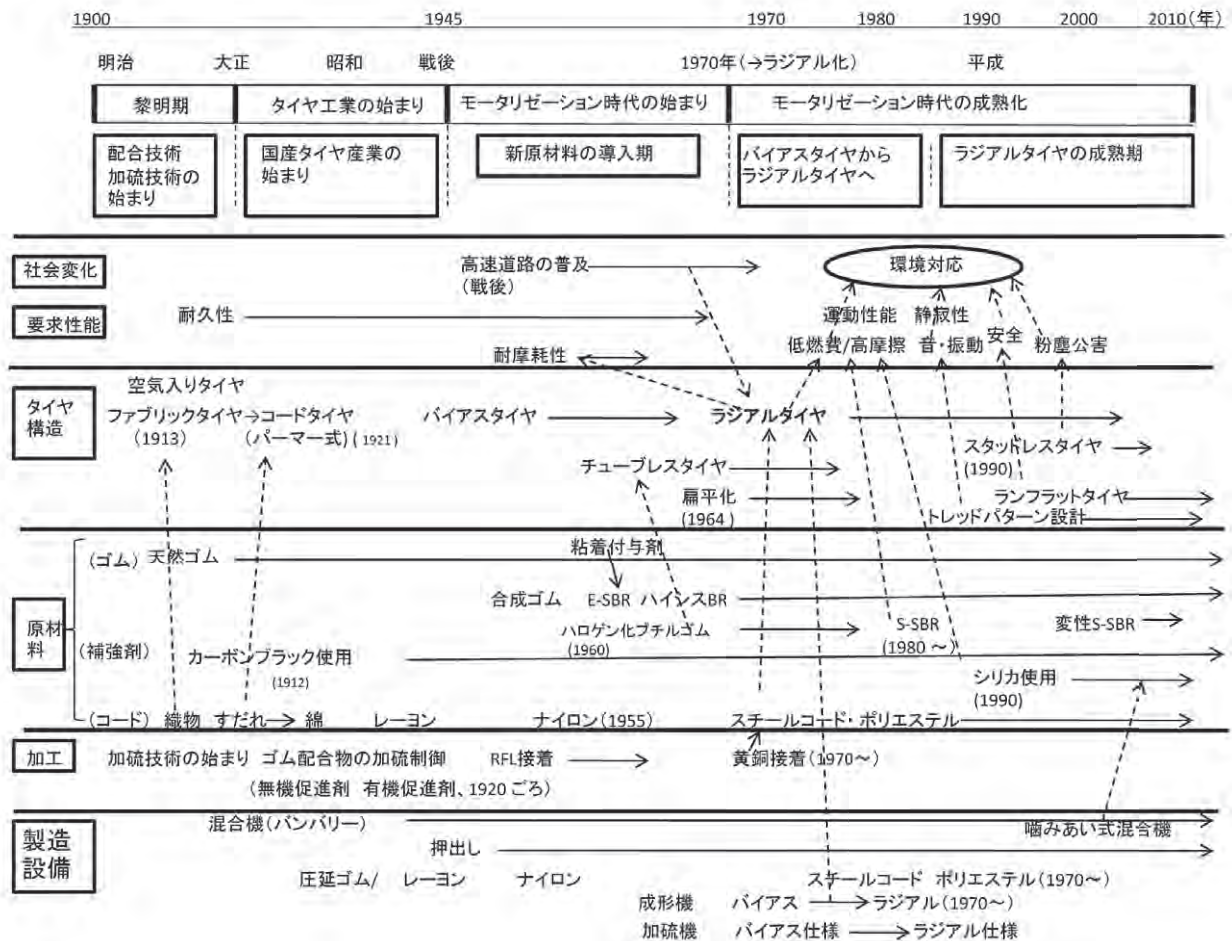


図 8.4 タイヤ技術の系統図

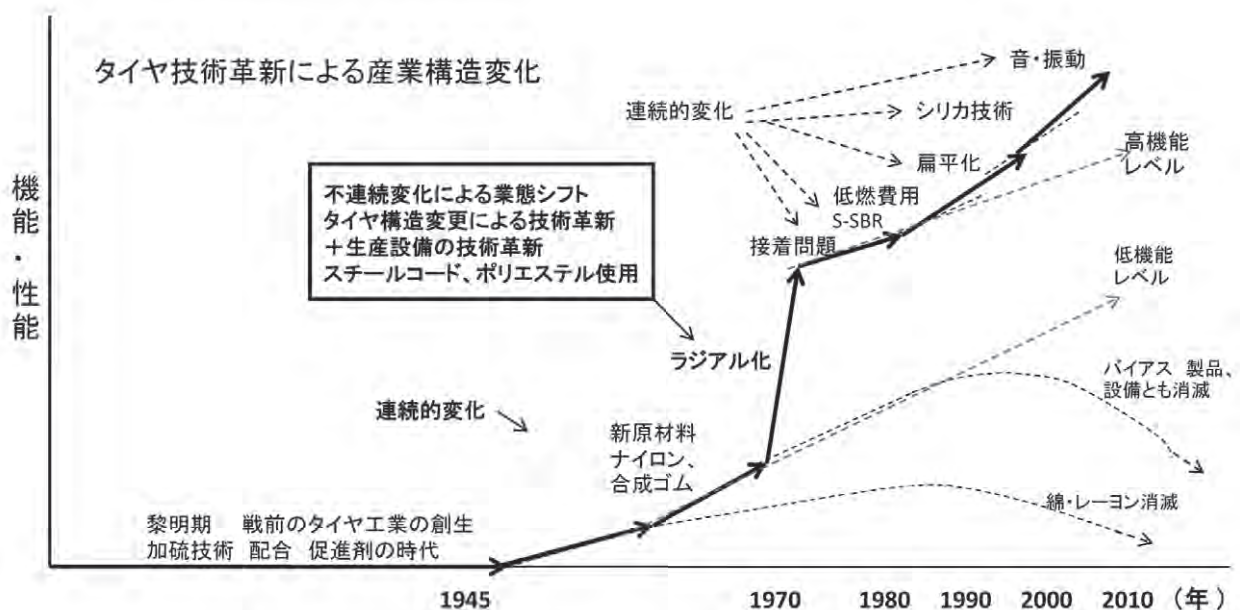


図 8.5 タイヤ技術革新による産業構造変化

(付録) タイヤ技術史年表

全体傾向；日本発の画期的技術少ない、欧米に遅れること1～10年ぐらいで具現化している。

太字は日本の技術関連 下線付は画期的技術開発

タイヤ関係	材料関係
1769年 キューノー蒸気自動車の車輪は櫛の円板鉄タイヤ使用(仏)	<u>1839年</u> <u>グットイヤー、加硫現象を発見(米)</u>
1835年 ソリッドタイヤの発明	
1842年 ハンコックのソリッドタイヤ製品化(英)	1843年 ハンコック 加硫特許取得(英)
1845年 トムソン空気入りタイヤ特許取得(英)	
1863年 ミシュラン創立(仏)	
1871年 マッキントッシュの中空ソリッドタイヤ特許(英) コンチネンタル・グミ設立(独)	
1872年 ピレリー設立(伊)	
1886年 土谷護謨製造所創立、日本初のゴム工業(明治19年)	
1888年 <u>J.B.ダンロップ空気入りタイヤ特許取得(英)</u> ダンロップの特許企業化(英) ミシュラン、クリンチャータイヤ製作(仏)	
1890年 ハートレットのクリンチャータイヤ特許 グッドリッチ、アメリカ初のタイヤ製造(米)	
1892年 ユナイテッドステーツラバー(後のユニロイヤル)設立(米)	
1893年 <u>ダイムラーの自動車にソリッドタイヤ使用(独)</u> <u>B.F.グッドリッチ自動車タイヤ試作(スダレ布使用)(米)</u>	
1896年 <u>ダンロップ、ホールディング設立(英)</u>	
1900年 <u>ファイアストーン設立(米)</u>	
1902年 <u>トレッドに模様つきのタイヤ出現(米)</u> <u>明治護謨工業所、自転車タイヤ国産(明治35年)</u>	1904年 <u>カーボンブラックの補強効果が見出される</u>
1904年 <u>ビードワイヤ入りストレートサイドタイヤ(米)</u>	1905年 <u>オーエンスレーガー(米)有機加硫促進剤を発見</u>
1908年 <u>パーマー式タイヤ特許(米)</u>	
1909年 <u>ダンロップ護謨(極東)神戸に設立(現住友ゴム工業)発足(明治42)</u>	
1910年 <u>グッドリッチのコード式タイヤ出現(米)</u>	<u>1912年</u> <u>ゴム補強剤にカーボンブラックを使用(米)</u>
1912年 <u>B.F.グッドリッチ設立(米)</u>	
1913年 <u>ダンロップ(極東)国産第一号タイヤ製造</u>	
1915年 <u>J.F.パーマーによるすだれ織りコードの使用</u>	
1917年 <u>横浜護謨製造創立(大正6)</u>	<u>1916年</u> <u>第1号バンバリーミキサー試作(米)</u>
1918年 <u>空気入りトラックタイヤ出現(米)</u>	

1920年	ピレリコードタイヤを製造(伊)	1924年	老化防止剤の発見
1921年	横浜護謄コードタイヤ第一号タイヤ製造(大正10年)	1926年	東洋紡初めてタイヤコード製造
1923年	低圧タイヤ(バルーン)開発(18~30psi 対比20~55)		
1928年	米でオートバイタイヤ規格化		
1929年	ミシュラン、レールカータイヤ試作(仏)		
1930年	ブリヂストン国産技術第一号タイヤ製造(日本足袋 タイヤ部による)(昭和5年)		
1931年	ブリヂストン創立(昭和6) ミシュランのレールカータイヤ発表(仏)	1930年	ディボン社 合成ゴムの工業化成功
1932年	米で農耕機用、建設機械用タイヤ規格化		
1934年	ミシュラン、トラックタイヤにスチールコード 応用研究を始める(仏)	1935年	合成ゴム プナS プナN生産(独) カロザース ナイロン66発明
1937年	ミシュラン、スチールコードタイヤ(バイアス) 発表(仏)	1936年	日本各社人絹タイヤ試作(昭和11年)
1938年	米で強力レーヨンコードタイヤ出回る	1939年	シュランク ナイロン6発明
1940年	ブチルチューブ試作始まる(米)	1939年	RFL接着法開発(米)
1942年	軍需用ナイロンタイヤ試作(米)	1940年	ブチルゴム(IIR)発表(米)
		1941年	合成ゴムGR-S生産拡大
1943年	東洋ゴム工業設立(昭和18)		
1944年	大日本航空機タイヤ(後のオーツタイヤ)設立(昭和19)		
1946年	スチールラジアルタイヤの特許取得と製造開始(仏)		
1947年	チューブレスタイヤの発明(米)		
1948年	ミシュラン、ラジアルタイヤの商業生産に入る(仏)		
1949年	日東タイヤ(後の菱東タイヤ)創立(昭和24)	1950年	日本でSBR使用開始 強力レーヨンコード使用始まる 油展SBR工業化(米)日本ゼオン創立
1951年	ピレリ社、ラジアルタイヤ発売(伊) 日本で強力レーヨンタイヤ製造開始(昭和26)	1952年	チーグラ触媒発明(独)
		1954年	IR(ポリイソブレン)合成成功(米)
1955年	チューブレスタイヤ新車採用(米) 日本でチューブレスタイヤ製造開始(昭和30)	1955年	BR(ポリブタジエン)合成発表(米) ナイロンコード使用開始(昭和30)
1956年	欧州でスノータイヤ使用広まる		
1958年	ナイロンタイヤ製造(昭和33) 日本にスノータイヤ登場	1957年	日本合成ゴム創立
1960年	ラジアルタイヤ試作(日)(昭和35年) スノータイヤ製造開始(日)	1958年	日本初の合成ゴム工業化成功
		1960年	ハロゲン化ブチル登場(米)
1962年	ポリエステルコードタイヤ一般化(米) スチールコードタイヤ製造(日)(昭和37)	1962年	ポリエステルコード普及(米) ポリエステル繊維製造成功
1963年	ブリヂストン、マレーシア、シンガポールに 海外進出の第一号として設立(後に撤退)		

1964年 偏平タイヤ(LSH70 %) 使用開始(米) スパイクタイヤ製造(日)(昭和39) 岡本理研(株)タイヤ事業に参入(昭和40) 此のころベルトッドバイアスタイヤ出現(米)	
1966年 ポリエステルタイヤ新車装着(米)	
1967年 ポリエステルタイヤ新車装着(日)(昭和42)	1967年 ファイバークラスコード使用始まる(米)
1968年 FMVSS発効(タイヤ関係も含まれる)(米) ベルトッドバイアスタイヤ製造(米) ラジアルタイヤ新車採用(日)(昭和43)	
1969年 ベルトッドバイアスタイヤ製造(日)(昭和44)	
1970年 スチールラジアルタイヤ製造(日)(昭和45)	
1972年 JATMA「自動車タイヤ安全基準」刊行(日)(昭和47)	1972年 タイヤにアラミドコード使用(米)
1973年 TGS(安全タイヤ)試作(日)(昭和48年)	
1975年 ECE30安全基準スタート(欧) パンクシールタイヤ製造(日)(昭和50)	
1977年 用済みタイヤ粉碎設備完成(日)(昭和52) 日本ISOに加盟、活動始める。	
1978年 用済みタイヤ、セメントキルンによる燃料化完成(日) JIS規格D4320にタイヤ動的試験など 安全基準が盛り込まれる。(昭和53) 低燃費タイヤ(第二次石油ショック) HPTタイヤ	
1983年 ランフラットタイヤ	
1986年 スタッドレスタイヤ販売増える	
1990年末でスパイクタイヤ製造中止、1991年3月末で販売中止。(平成2年)	
1980～1990年代 国内各社タイヤ理論発表	
1990年代はじめ ミシュランがグリーンタイヤ発表 シリカが含まれていたのもそれ以降特に 乗用車用に世界中でシリカ使われるよう になりその関連の加工技術も進歩した。	
2000～ ランフラットタイヤ(サイド補強タイプ)普及	

上表に関する参考文献

- ・服部六郎：「タイヤの話」 大成社 平成4年6月25日 p229-233
 - ・「自動車タイヤの研究」横浜ゴム株式会社編 山海堂 平成7年4月 p4
 - ・「ブリヂストン七十五年史」株式会社ブリヂストン 2008年5月
 - ・「住友ゴム百年史」住友ゴム工業株式会社 2009年12月
 - ・「東洋ゴム工業五十年史」東洋ゴム工業株式会社 平成8年3月21日
 - ・「80周年記念 We 特別号」横浜ゴム株式会社 1997年10月13日
- などから引用して構成した。

謝辞

本報告書「タイヤ技術系統化調査」を作成するにあたり、次の方々には技術情報提供や示唆に富む御助言を賜りました。ここに深く感謝の意を表します。

トヨタ自動車(株)トヨタ博物館	杉浦 孝彦 様 小清水 潔 様
ニチアス株式会社	山田 均 様
日本自動車タイヤ協会	近藤 健人 様
株式会社ブリヂストン	平田 靖 様 芥川 恵造 様 水野 雄太 様
BRIDGESTONE TODAY ゴムとタイヤの博物館	伊東 功 様
住友ゴム工業株式会社	中瀬古 広三郎 様 新村 恭司 様
東洋ゴム工業株式会社	駒水 謙二様 森川 幸則 様
横浜ゴム株式会社	鈴木 俊彦 様 甲斐 栄男 様 石川 清美 様 小石 正隆 様
ヨコハマテクノロジーサーチ殿	

番号	名称	資料形態	所在地	製作者	作製年	選定理由
1	自動車タイヤ国産第一号	保存	住友ゴム工業株式会社 神戸市中央区	ダンロップ (極東)	大正2年 (1913年)	1913(大正2)年、The Dunlop Rubber Co. (Far East), Ltd. は自動車タイヤの生産を開始した。この頃、自動車用タイヤの生産は日産25～26本で、極めて手作りの色彩の強いものであった。製法は「フアブリックタイヤ」、あるいは「キャンバスタイヤ」と称して、ゴム引きした布を重ね合わせ、やり方であった。国産自動車タイヤ第一号タイヤとして貴重な技術遺産である。
2	旧日本海軍零式戦闘機に使用された主脚タイヤ	保存	横浜ゴム株式会社 神奈川県平塚市	横浜護謄製造 株式会社	昭和18年 (1943年) 5月	太平洋戦争中に製造された零戦用タイヤである。昭和38年グアム島で発見された零戦に装着されていた。機体は見る影もなかったが、タイヤはそのまま使用に耐える状態だった。現在もそのまま保存されている。戦中のタイヤ技術は軍備品として開発し、高性能であったことが、このことからわかる。 サイズ 6.00-17.5
3	戦闘機「隼」用タイヤ	保存	ブリヂストン博物館 (Bridgestone Today) 東京都小平市	日本タイヤ 株式会社	昭和19年 (1944年) 2月	戦中の戦闘機タイヤとして使用された高耐久性商品として貴重。戦中の日本のタイヤ技術のレベルは自前技術でかなり高かったと考えられる。このタイヤは昭和19年の製造であり、戦闘機「隼」に装着されたものである。現状でもそれほど劣化していないように見える。サイズ5.70-19

国立科学博物館 技術の系統化調査報告 第16集

平成23(2011)年3月31日

- 編集 独立行政法人 国立科学博物館
産業技術史資料情報センター
(担当：コーディネイト・エディット 永田 宇征、エディット 大倉敏彦)
- 発行 独立行政法人 国立科学博物館
〒110-8718 東京都台東区上野公園 7-20
TEL：03-3822-0111
- デザイン・印刷 株式会社ジェイ・スパーク