

はじめに

自動車産業は今、環境対応技術と安全技術の確立という二つのテーマを中心に、百年に一度という大きな変革の時代に入っていると言われています。タイヤ業界では、2010(平成22)年に低転がり抵抗性と濡れた路面での走行安全性を兼ね備えた“低燃費タイヤ”の“ラベリング制度”を世界に先駆けて発足させてその普及に努めており、2017年には新車装着タイヤ、一般市販タイヤとともにそのほとんどがこの仕様になり今日に至っています。

本書はこの低燃費タイヤを主なテーマとし、主材料であるゴムの発見から始めて現在に至るタイヤの歴史をたどりながら、その成り立ちと特徴を述べ、乗用車用タイヤについての理解を深めていただくことを願ってまとめました。

経済産業省は2018年4月に「自動車新時代戦略会議」を設置、我が国自動車産業が世界のイノベーションをリードし、環境問題の解決などに積極的に貢献していくための戦略について検討を進めています。

その中間整理として、同年7月に「日本は2050年までに、世界で供給する日本車のxEV(電動車)化を進め、世界最高水準の環境性能を実現し、究極のゴールとして、世界のエネルギーの製造から車の走行までの温室効果ガスの排出をゼロにする“Well-to-Wheel Zero Emission”にチャレンジする方針」を打ち出しました¹⁾。“Well”とは石油採掘のための井戸を、“Wheel”は車輪、タイヤを装着した自動車を意味し、世界で販売される、商用車等を含む日本車の1台当たり温室効果ガスを8割程度、そのうち乗用車は9割程度削減(xEV100%を想定)を目指しています。

具体的な目標として、年号が平成から令和になった2019年6月、2030年度を目標に25.4km/ℓを基準値とする乗用車の新たな燃費基準が提示されました²⁾。この新燃費基準は、2016年度実績比で32.4%、2020年度燃費基準の水準(推定値)との比較で44.3%という極めて厳しいものです。

乗用車の燃費改善の取り組みが始まったのは1973(昭和48)年10月に起こった石油危機がきっかけでした。燃費にはエンジンをはじめ多くの要因がかかわっていますが、タイヤの寄与率はクルマが一定の速さで走っているとき20～25%、発進・停止のある市街地走行では7～10%と言われています。その低減対策が本格的に行われるようになったのは1980年代に入ってからで、以来、低燃費タイヤの開発はタイヤメーカー各社の最重要技術課題となって現在に至っています。

タイヤ販売店やカー用品店などで売られている乗用車用タイヤのうち、ラベリング制度に基づく低燃費タイヤ(エコタイヤ)の占める割合は、販売の始まった2010(平成22)年の21.7%から急激に増え、2018年には80.7%に達しました³⁾。当然のことながら、新車に装着されているタイヤは車種によって程度は異なりますが、全て低燃費性能に配慮したものになっています。

低燃費タイヤは、これまでのタイヤと比べて転がり抵抗が小さく、燃費が向上することはよく知られています。しかし、具体的にどのようなタイヤなのか、転がり抵抗が小さくなるのはなぜか、燃費をよくするにはどのように使えばよいのかなどの低燃費タイヤについての情報は乏しく、周知されていないように思われます。

タイヤは自動車の唯一路面と接する部品であり、燃費はもとよりクルマのほとんどあらゆる性能に大きな影響を与えます。その働きについてはいくつかの見方がありますが、下記5つの基本的な機能が考えられます。

- ① 空気とその圧力によってクルマの重量(質量)を支える
- ② 路面との間の摩擦力によって、エンジンからの駆動力・ブレーキからの制動力・ステアリングによって生じる旋回力を路面に伝える
- ③ ゴムの柔らかさと空気の弾性によって路面からの衝撃を和らげる
- ④ ホイールと一体になってクルマを装う
- ⑤ 路面の状態を探る

そしてこれらの機能に加えて、近年、タイヤには耐久性・耐摩耗性の向上、

転がり抵抗・騒音の低減など、省資源、省エネルギー、環境改善や、クルマの安全性、快適性を高めるための性能向上が求められています。

こうしたタイヤの働きを踏まえ、本書では次のように記述を進めています。

・第1章 ゴム産業の始まり：新大陸からもたらされたゴム製品の有用性に気付いたヨーロッパの人々が、ゴムをどのように処理すればその特徴を生かした製品ができるのかを模索し、独特の加工技術が生まれました。小規模に行われてきたゴム製品の製造は産業革命を背景にゴム工業へと発展します。

・第2章 空気入りタイヤの誕生：空気入りタイヤは1845年に馬車用としてイギリスで発明されましたが量産には至らず、43年後の1888(明治21)年にチューブを入れた自転車用として実用化されました。その経緯をたどります。

・第3章 乗用車用タイヤの変遷：20世紀に入って量産の始まったガソリン自動車には初期の段階から空気入りタイヤが標準装着されました。弱点だった耐久性を材料の強化と加工方法の工夫によってほぼ克服したタイヤは、バイアスからラジアルへと構造が変わり、21世紀に入って高性能タイヤ、低燃費タイヤへと進じます。

・第4章 タイヤの種類と構造：乗用車用タイヤについて、その構造、規格、種類など概要をまとめました。

・第5章 タイヤ用ゴムの成り立ち：タイヤの性能特性に決定的な影響を与えるゴム。弾性に富み、伸び縮みする性質はどのようにして生じるのか、そのメカニズムの解明から始めて原料ゴム、補強剤などの配合技術やゴム製品の製造工程を紹介します。

・第6章 タイヤの転がり抵抗：燃費をよくするにはタイヤの転がり抵抗を小さくしなくてはなりませんが、その転がり抵抗はどのように生じるのか、これを小さくするにはどうすればよいのかをまとめました。

・第7章 タイヤと路面の摩擦：ゴムと路面の摩擦のメカニズムは通常の固体間の摩擦とは異なる特有なもので、摩擦力の大きさはゴムの性質と路面の状態に左右されます。まず乾燥した路面におけるタイヤの摩擦について考え、濡れ

た路面、雪や氷に覆われた路面での摩擦へと話を進めます。

・第8章 低燃費タイヤの特性：通常のゴムのタイヤで転がり抵抗を小さくすると、同時に路面との摩擦力も小さくなり、濡れた路面で滑りやすくなるという問題が生じます。低燃費タイヤには、低い転がり抵抗と同時に、濡れた路面での摩擦力確保が可能な新しいゴムの開発が必要でした。その経緯を述べます。

・第9章 様々なタイヤ：近年とくに注目されている超偏平タイヤ、モータースポーツ用タイヤ、スペアタイヤ、ランフラットタイヤを紹介し、CASE〈C(Connected = つながる)、A(Autonomous = 自動化)、S(Shared = シェアリング)、E(Electric = 電動化)〉とタイヤの関係について考えます。

・第10章 タイヤと空気圧：環境にやさしいタイヤの使い方の要点は、空気圧を適正に保つことと、4本のタイヤが同時に交換時期を迎えることができるよう上手にローテーションを行うことです。

本書は低燃費タイヤを中心に、クルマの安全・安心を支えているタイヤについて、できるだけ多くの方々に知っていただきたいという願いから、本文を全90項目に分け、各項目を分かりやすいように見開き2頁にまとめました。通して読み進めていただくことを前提としていますが、とくに関心のある項目から読んでいただいてもよいように配慮したつもりです。低燃費タイヤを手掛かりとして乗用車用タイヤ全般についての理解を深めていただくことができれば幸いです。

目 次

はじめに

第1章 ゴム産業の始まり 17

1. タイヤとゴム 18
 - ・ タイヤに占めるゴムの割合
 - ・ トレッドゴムで決まるタイヤ性能 ・ ゴムとは何か
2. 天然ゴムの発見 20
 - ・ 世界最古のゴム ・ 生き物のように弾むボール
3. ゴム文化を育んだ文明 22
 - ・ メソアメリカ文明 ・ コロンブスの発見
 - ・ ヘベア・ ブラジリエンシス
4. 新大陸からの珍品 24
 - ・ コンダミーヌのレポート ・ 輸入された天然ゴム
 - ・ 天然ゴムの採集
5. 初期のゴム製品 26
 - ・ プリーストリーと消しゴム ・ 生ゴムからつくられた製品
6. イギリスの産業革命 28
 - ・ 糸紡ぎと織布の機械化 ・ 製鉄と機械工業
7. ゴム産業の始まり 30
 - ・ 素練り機の発明 ・ ゴムシートと糸ゴム ・ ゴム引き布
 - ・ 基礎の固まった製造方法
8. 加硫の発明 32
 - ・ グッドイヤーによる発見 ・ ハンコックによる加硫の実用化
9. ゴム製品の多様化 34
 - ・ ゴム配合と混練り ・ 様々なゴム製品
- コラム 車輪の始まり 36

第2章 空気入りタイヤの誕生 37

1. 馬車のサスペンション 38
 - ・タイヤの語源 ・馬車の乗り心地改善
 - ・馬車用ソリッドタイヤ
2. 交通革命の進展 40
 - ・道路整備の拡がり ・馬車から鉄道へ
3. 空気入りタイヤの発明 42
 - ・トムソンのエアリアルホイール
4. エアリアルホイールの性能 44
 - ・公園を走る馬車 ・牽引力の比較
5. 自転車の登場 46
 - ・初めてのペダル式自転車 ・前輪駆動のペロシペード
 - ・ハイホイラー自転車アリエル
6. ワイヤースポークの働き 48
 - ・接線スポークホイール ・スポークの働き
 - ・オーディナリー型自転車へ
7. 安全型自転車の誕生 50
 - ・チェーンで後輪駆動 ・安全型自転車の普及 ・女性向きのトライシクル
8. ソリッドタイヤとクッションタイヤ 52
 - ・ソリッドタイヤの改良 ・クッションタイヤ
9. 空気入りタイヤの実用化 54
 - ・ダンロップのニューマチックタイヤ
 - ・ニューマチックタイヤの生産
10. ダブルチューブタイヤとシングルチューブタイヤ 56
 - ・タイヤのリムへの着脱 ・シングルチューブタイヤ
 - タイヤの歴史年表 1 58
 - コラム イギリスのタイヤ関係主要都市 60

第3章 乗用車用タイヤの変遷 61

1. 自動車用タイヤの始まり 62
 - ・ガソリン自動車の誕生

- ・ ミシュランのニューマチックタイヤ
- 2. グレートレースのミシュラン兄弟…………… 64
 - ・ バリ=ボルドー間グレートレース ・ ミシュラン兄弟の奮闘
- 3. ステアリングとディファレンシャル…………… 66
 - ・ 馬車と自動車の違い ・ アッカーマン・ステアリング
 - ・ 駆動軸に欠かせない差動装置
 - ・ タイヤに求められる“伝える”働き
- 4. 初期の乗用車用タイヤ…………… 68
 - ・ ワイヤードオン式とクリンチャー式
 - ・ 滑りを止めるトレッドパターン
- 5. カーカスの構成…………… 70
 - ・ 麻から木綿になったカーカス ・ 引き裂かれたタイヤ
 - ・ すだれ織りコードの発明
- 6. 天然ゴムと合成ゴムの生産…………… 72
 - ・ ゴムの需要拡大 ・ 野生ゴムから栽培ゴムへ
 - ・ 合成ゴムの開発
- 7. タイヤ材料の進化…………… 74
 - ・ スチレンブタジエンゴム (SBR) の開発 ・ ゴムの三大発明
 - ・ タイヤコードの変遷
- 8. 日本におけるタイヤ産業の始まり…………… 76
 - ・ 人力車用タイヤ ・ 自転車用タイヤ ・ 自動車用タイヤ
 - ・ ダンロップ護謄(極東)の創業
- 9. タイヤの形状と空気圧の変遷…………… 78
 - ・ タイヤの偏平化、低空気圧化
- 10. バイアスからラジアルへ…………… 80
 - ・ ラジアルタイヤの構造と特徴
 - ・ ヨーロッパにおけるラジアルタイヤの普及
 - ・ 日本におけるラジアルタイヤの普及
- 11. アメリカ生まれのタイヤ…………… 82
 - ・ ベルテッドバイアスタイヤ ・ チューブレスタイヤ
- 12. ラジアルタイヤの進化…………… 84
 - ・ 偏平ラジアルタイヤ(ロープロファイルタイヤ)
 - ・ ヨーロッパのロープロファイルタイヤ
- 13. 日本における偏平タイヤの普及…………… 86

- 14. 高性能タイヤの進化 88
 - ・高級車・スポーツカーの開発
 - ・高性能ロープロファイルタイヤの開発
- 15. 冬用タイヤの変遷 90
 - ・スノータイヤからスパイクタイヤへ
 - ・スパイクタイヤからスタッドレスタイヤへ
- タイヤの歴史年表 2 92
- コラム トヨタ2000GTのタイヤ 94

第4章 タイヤの種類と構造 95

- 1. タイヤの構造と各部分の働き 96
- 2. タイヤの規格とサイズ表示の変遷 98
 - ・乗用車用タイヤの規格
 - ・タイヤサイズ表示の変遷
- 3. サイドウォールの表示 100
- 4. 乗用車用タイヤの種類 102
 - ・新車用タイヤ
 - ・市販用タイヤ
- コラム タイヤ関係単位換算表 104

第5章 タイヤ用ゴムの成り立ち 105

- 1. ゴムの特徴と分子構造 106
 - ・ゴムの特徴
 - ・ゴム弾性と固体の弾性
 - ・ゴムの分子構造
- 2. エントロピー弾性とヒステリシスロス 108
 - ・固体のエネルギー弾性
 - ・ゴムのエントロピー弾性
 - ・ヒステリシスによるエネルギーロス
- 3. タイヤ用原料ゴム 110
 - ・タイヤ用ゴムの種類
 - ・天然ゴム(NR)
 - ・合成ゴムの製造
 - ・イソプレンゴム(IR)
 - ・スチレンブタジエンゴム(SBR)
 - ・ブタジエンゴム(BR)
- 4. 天然ゴムの特徴 112
 - ・天然ゴムの分子量分布
 - ・天然ゴムの分子構造

- ・天然ゴムとグタペルカの違い
- 5. スチレンブタジエンゴムの特徴…………… 114
 - ・スチレンブタジエンゴム (SBR) の分子構造 ・乳化重合 SBR (E-SBR)
 - ・溶液重合 SBR (S-SBR)
- 6. ゴムの補強剤…………… 116
 - ・カーボンブラックとその働き ・低燃費タイヤ用シリカ
- 7. ゴムの配合技術…………… 118
 - ・原料ゴムに混入される配合剤 ・配合剤の種類と性質
- 8. タイヤ各部のゴム…………… 120
 - ・トレッドゴム ・サイドウォールのゴム
 - ・カーカスとベルトのゴム
 - ・インナーライナーのゴム ・ビード部のゴム
- 9. ゴム製品の加工技術…………… 122
 - ・ゴム製品の製造工程 ・素練り ・混練り ・加硫
- コラム 廃タイヤのリサイクル…………… 124

第6章 タイヤの転がり抵抗…………… 125

- 1. クルマの走行抵抗…………… 126
 - ・走行抵抗の成分 ・各抵抗の走行抵抗への影響
- 2. タイヤ／路面間の摩擦…………… 128
 - ・物体間の摩擦 ・タイヤ／路面間の摩擦
- 3. 転がりと摩擦の実験…………… 130
- 4. 純粋転がり抵抗…………… 132
 - ・転がり抵抗発生のメカニズム ・転がり抵抗の定義
 - ・転がり抵抗の性質
- 5. 純粋転がり抵抗の低減…………… 134
 - ・空気入りタイヤの純粋転がり抵抗 ・路面の粗さと転がり抵抗
 - ・外径の大きい低燃費タイヤ
- 6. 空気入りタイヤの転がり抵抗…………… 136
 - ・3つのエネルギーロス ・タイヤの変形によるエネルギーロス
 - ・ヒステリシスロスに影響を与える要因
- 7. 高速走行時の転がり抵抗…………… 138

- ・バイアスタイヤのスタンディングウエーブ
- ・ラジアルタイヤのスタンディングウエーブ
- 8. 接地摩擦によるエネルギーロス 140
 - ・トレッドの接地と接地圧分布
 - ・エアリアルホイールの転がり抵抗
 - ・乾燥路面における転がり抵抗係数
- 9. コーナリング時の転がり抵抗 142
 - ・スリップ角とコーナリングフォース
 - ・コーナリング抵抗
 - ・ニューマチックトレールとセルフアライニングトルク
- 10. 転がり抵抗のまとめ 144
 - ・転がり抵抗の一般的な性質 ・空気圧と転がり抵抗
 - コラム ゴムの粘弾性 146

第7章 タイヤと路面の摩擦 147

- 1. タイヤの静摩擦と動摩擦 148
 - ・転がり抵抗と静摩擦 ・静摩擦と動摩擦
- 2. タイヤのすべり摩擦 150
 - ・静摩擦係数とすべり摩擦係数 ・すべり摩擦係数の測定
 - ・アンチロックブレーキシステム (ABS)
- 3. 各種路面のすべり摩擦係数 152
 - ・一般道路のすべり摩擦係数 ・道路構造令のすべり摩擦係数
 - ・すべり摩擦係数と交通事故 ・レーシングタイヤのすべり摩擦
- 4. ハイドロプレーニング現象 154
 - ・ハイドロプレーニングの発見 ・ハイドロプレーニングの実際
 - ・写真で見るハイドロプレーニング
- 5. 濡れた路面でのグリップ 156
 - ・ハイドロプレーニングによるスリップ事故
 - ・ハイドロプレーニングの発生速度
 - ・濡れた路面でのコントロール
- 6. タイヤの摩耗限度表示 158
 - ・溝深さと制動距離 ・スリップサインの表示 ・スリップサインはレッドカード

7. トレッドゴムの摩耗	160
・凝着摩耗とアブレシブ摩耗	・凝着摩耗のメカニズム
・タイヤの摩耗に影響を与える要因	
8. スタッドレスタイヤの特性	162
・夏用タイヤと冬用タイヤ	・スタッドレスタイヤの働き
9. 氷雪路のすべり摩擦	164
・氷雪路面のすべり摩擦係数	
・氷雪路面における摩擦係数の測定	
10. スタッドレスタイヤの通年使用	166
・冬用タイヤの使用限度	・舗装路における制動距離
・スタッドレスタイヤの保管	
11. タイヤ道路騒音	168
・タイヤの騒音規制	・タイヤ道路騒音の発生源と寄与度
12. 様々なアスファルト舗装	170
・舗装の機能と舗装率	・アスファルト舗装の種類と特性
○コラム 騒音の大きさを表すデシベル(dB)	172

第8章 低燃費タイヤの特性 173

1. 低燃費タイヤ開発の始まり	174
・石油危機と省エネルギー対策	
・ラジアル化と軽量化による転がり抵抗低減	
2. タイヤの構造・形状と転がり抵抗	176
・偏平化による転がり抵抗の低減	
・タイヤ形状の最適化による諸性能の向上	
3. 転がり抵抗とウエットグリップ	178
・転がり摩擦とすべり摩擦のヒステリシスロス	
・二律背反性の克服	
4. 化学変性S-SBRによる低燃費化	180
・原料ゴムのヒステリシスロスと周波数	
・S-SBRの分子変性	
5. カーボンブラック配合低燃費タイヤ	182
・ポリマーのブレンドによるコントロール(ポリマー間の摩擦)	

- ・カーボンブラックの改良(カーボン間の摩擦)
- ・ゴムとカーボンブラックの相互作用(ポリマー／カーボン間の摩擦)
- 6. シリカ配合低燃費タイヤ…………… 184
 - ・グリーンタイヤの発売　・シリカカップリング剤の働き
 - ・シリカ配合ゴムの特徴　・シリカ配合用S-SBR
- 7. 低燃費タイヤのラベリング制度…………… 186
 - ・低燃費タイヤ統一マーク　・転がり抵抗の燃費への寄与
 - ・低燃費タイヤの試験方法
- 8. 環境・安全を目指す低燃費タイヤ…………… 188
 - ・産学連携の技術開発　・コンパウンドのミクロ構造解析
 - ・ゴムの物性を予測する材料技術開発
- コラム　タイヤの成長と有効数字…………… 190

第9章 様々なタイヤ…………… 191

- 1. 超偏平タイヤ…………… 192
 - ・タイヤの“装う”働き
 - ・クルマのグレードとタイヤサイズ
 - ・超偏平タイヤでドレスアップ
- 2. モータースポーツ用タイヤ…………… 194
 - ・モータースポーツとタイヤ　・グリップを体感する
 - ・スポーツ走行を楽しむ
- 3. スペアタイヤ…………… 196
 - ・スペア専用タイヤ　・タイヤパンク応急修理キット
- 4. 空気圧低下警報装置…………… 198
 - ・タイヤトラブルとJAFのロードサービス
 - ・ドライバーのパンクへの対応
 - ・タイヤ空気圧監視システム
- 5. ランフラットタイヤ…………… 200
 - ・パンクしても走れるタイヤ　・安全タイヤの開発
 - ・サイド補強式ランフラットタイヤ
 - ・ランフラットタイヤのメリット
- 6. ランフラットタイヤ(続)…………… 202

- ・ランフラットタイヤの普及 ・新世代ランフラットタイヤ
- ・国内専用ランフラットタイヤ
- 7. CASEとタイヤ…………… 204
- コラム エアレスタイヤ…………… 206

第10章 タイヤと空気圧…………… 207

1. タイヤの“支える”働き…………… 208
 - ・クルマを支える空気圧 ・タイヤコードの張力
 - ・ブリーディングC.B.U.
2. タイヤの性能と空気圧…………… 210
 - ・タイヤの性能特性と空気圧の関係 ・適正空気圧
3. タイヤの空気圧低下…………… 212
 - ・空気圧点検の実態 ・空気圧の自然低下
 - ・タイヤの組み立てと空気圧の低下
4. 空気圧の点検…………… 214
 - ・エアバルブの構造 ・空気圧の測定
5. タイヤのメンテナンスは販売店で…………… 216
 - ・タイヤ点検をする人 ・空気圧の点検と調整
 - ・溝深さのチェックとタイヤローテーション
6. 一人ひとりの省資源…………… 218
 - ・タイヤの点検整備 ・エコドライブで省資源

おわりに…………… 221

注記・参考文献…………… 224

タイヤ技術関係書籍(発行順)…………… 240

索引…………… 241

第1章

ゴム産業の始まり

近年、日本では1年間に約130万トンの原料ゴムが消費されており、そのうちの約80%がタイヤに使われています。そしてタイヤを原材料の構成比で見ると、天然ゴムが約30%、合成ゴムが約20%、合わせて約50%がゴムです。

人類の歴史の上で、天然ゴムからつくられた製品を最初に用いたのは、紀元前1500年頃中米メソアメリカ*に誕生したオルメカ文明でした。

伸び縮みしてよく弾み、水を透さないという特異な性質をもつこの素材は、産業革命が始まる直前の18世紀中頃ヨーロッパにもたらされ、その特徴を生かして様々な家庭用品・工業用品がつくられました。そしてゴム製品の製造技術は19世紀中頃にほぼ基礎が固まり、ゴム工業は産業の一分野を占めるに至ります。

*メソアメリカ：スペインによる統治が行われる以前に、マヤ文明・アステカ文明に代表される様々な文明が栄えた地域。「メソ」はギリシア語の「mesos（中央にある）」に由来する。

1. タイヤとゴム

タイヤに占めるゴムの割合

日本のゴム製品製造業に占めるタイヤ産業の割合を、2019年(平成31年～令和元年)の原料ゴム消費量で見ますと、ゴム製品合計132万トンのうち106万トン(80%)がタイヤ、26万トン(20%)が非タイヤとなっています。原料ゴムの実に8割はタイヤに使われているのです¹⁾。

また、同じ2019年における自動車タイヤの原材料とそれらの重量比は、図1-1に示すように、①原料ゴム51%、②補強材(カーボンブラック、シリカ)24%、③タイヤコード14%(スチール11%、テキスタイル3%)④配合剤(加硫剤、老化防止剤、充てん剤など)6%、⑤ビードワイヤー(スチール)5%となっています。

タイヤに使われているゴムは①原料ゴムに②補強材と⑤配合剤を混ぜ合わせた配合ゴムなので、この3つを加えると、実質的にはタイヤの81%はゴムということになります。

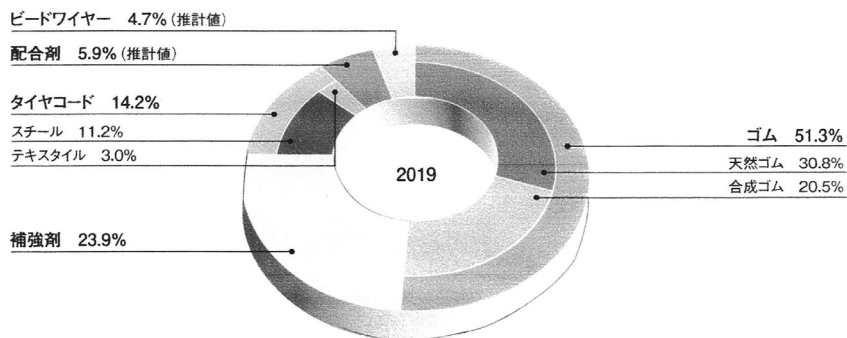


図 1-1 自動車タイヤの原材料と重量比¹⁾

資料：JATMA

トレッドゴムで決まるタイヤ性能

タイヤには支える、伝える、和らげる、装う、探るの5つの基本的な働きがありますが、その性能特性は「伝える：路上を転がりながら、エンジンが生み出すクルマを進める力やブレーキに生じるクルマを止める力、ステアリングに

6. ワイヤースポークの働き

接線スポークホイール

アリエルのホイールのスポークは当初長い1本のワイヤをリムとハブの穴にループ状に通してひと組み2本とし、ハブに取り付けたねじを締めて放射状に均等の力で張るもの(放射状スポーク)でした。しかし1874(明治7)年になって、スポークを1本ずつハブの接線方向(タンジェント)に張る方式に改良され、以後このホイールは「接線スポークホイール」(タンジェント組みスポークホイール)として自転車用ホイールのスタンダードになりました¹¹⁾。

スポークの働き

図2-8はスポーク数28本のホイールを例に、半分の14本だけを描いて接線スポークの働きを示したものです¹³⁾。

①はペロシペードの木製ホイールで、人が乗って車軸に荷重がかかるとその重みでホイールの接地部付近がたわみ、スポークに圧縮力や曲げ力がかかります。一方、②の接線スポークホイールは、車軸にかかる荷重を真上にある2本のスポークを中心に、ホイールの上半分のスポークの張力で支える、つまりリムがスポークで車軸を吊っているかたちになっています(②-1)。そして接線スポークホイールはスポークがハブから接線方向にリムに張られているため、ペダルをこぐ力がワイヤの張力としてリムに効率よく伝わります(②-2)。

また、ホイールが路面の小石に乗り上げたときなど、ホイールの一部に衝撃が与えられたときの力の伝わり方にも違いがあります。木製ホイールではその

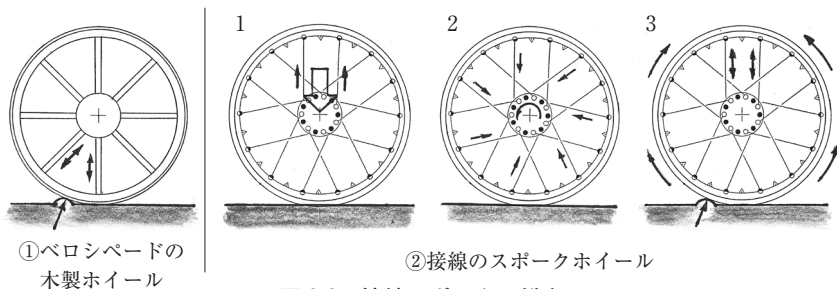


図 2-8 接線スポークの働き

4. 初期の乗用車用タイヤ

ワイヤードオン式とクリンチャー式

図3-6は初期のダンロップ製自動車タイヤの構造を示したもので、左はワイヤードオン式、右はクリンチャー式タイヤです¹⁰⁾。ともに4枚のキャンバスを重ねてカーカスとし、これをゴムのシートで覆った上に“ブレーカー”と呼ばれる、路面からのショックを和らげると同時にカーカスを外傷から守る働きをする2枚または3枚のキャンバスとトレッドゴムが貼られています。

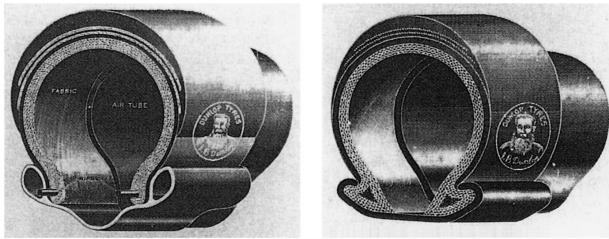


図3-6 ワイヤードオン式タイヤ（左）とクリンチャー式タイヤ¹⁰⁾

ワイヤードオン式タイヤはウェルチのウェルベースリム（2章-10参照）との組み合わせで使用され、ダンロップ社が独占していましたので、その特許が切れるまで他のメーカーは自転車用と同じクリンチャー式で自動車タイヤをつくっていました。

クリンチャー式はビーデッドエッジ式あるいは引掛け式とも呼ばれ、“耳心ゴム”という三角形断面の弾力性のある硬いゴムが入っているビード部をリムに引っ掛けて、3.2～5 kgf/cm²の空気圧で押し付け¹¹⁾、タイヤを固定する仕組みになっています。ミシュランがグレートレースの翌1896年に販売を始めた幅90mmの自動車用タイヤもこのタイプで、カーカスはズック (duck: 木綿の織物) でした¹³⁾。その後20世紀初めにかけて次々と自動車メーカーが現れ、タイヤメーカーもその数が増えましたが、第一次世界大戦が終わった1918(大正7)年頃までそのほとんどがクリンチャー式で、ダンロップもワイヤードオン式に加えてこのビード部のタイヤもつくっていました。

しかし、1920年代に入って自動車の性能がよくなり、クルマが速い速度でカ

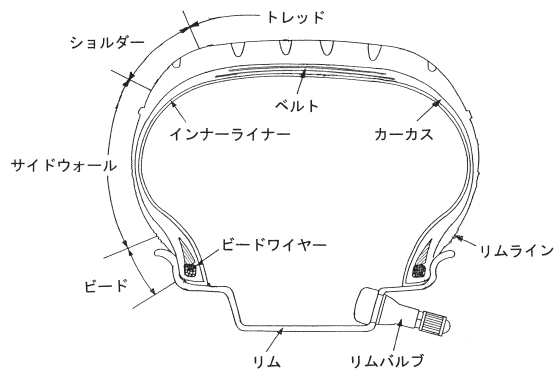


図 4-1 ラジアルチューブレスタイヤの構造部分の名称

- ⑤インナーライナー：高圧の空気を保持するためのゴム層で、空気の透りにくい性質と同時に、釘などの異物が刺さってもそのまわりに密着して空気を漏れにくくする、柔軟性のあるゴムが使われています。
- ⑥サイドウォール：トレッド部とビード部の間のタイヤ側面のゴム層です。カーカスを外傷から守るのがその役目で、タイヤサイズほか、そのタイヤについての多くの情報が刻印されています。
- ⑦ビード：タイヤをホイールのリムに固定する部分で、必要な本数のビードワイヤー（鋼線）をリング状に束ね、上に三角形断面の硬いゴムの輪を取り付けて、巻き上げたプライの端で全体を包む構造になっています。タイヤの動きの「支点」となるトレッドに次ぐ重要な部分で、とくに高性能タイヤではその素材と構造に工夫が凝らされています。空気圧が低くなくてもタイヤがリムから外れないようにするため、ビード部の内径をリムの外径よりも少し小さくつくり、ビードが常時リムを締め付けるようになっています。
- ⑧リムライン：タイヤをリムに取り付けたときに、ビード部が正しく嵌っているかどうかを確認するための目印として、ゴムを盛り上げたラインが設けられています。

ムは元の形に戻ります。このゴム特有の弾性は、ばねのエネルギー弾性に対して“エントロピー弾性”と呼ばれています。

エントロピーというのは、熱力学で系の乱雑さや複雑さの度合いを表す量で、熱の出入りのない系では、内部変化は常にエントロピーが大きくなる(乱雑さが増す)方向へ動くという法則で知られています³⁾。分子鎖を丸まった状態から引き伸ばすと、その動きが規制されるのでエントロピーが小さくなりますが、この法則によって元の状態に戻ろうとする復元力が生じ、これがゴムの弾性になるということから“エントロピー弾性”と呼ばれるようになりました。エントロピーは分子のミクロブラウン運動が大きいほど大きく、単位は℃(摂氏)です。ヒステリシスによるエネルギーロス

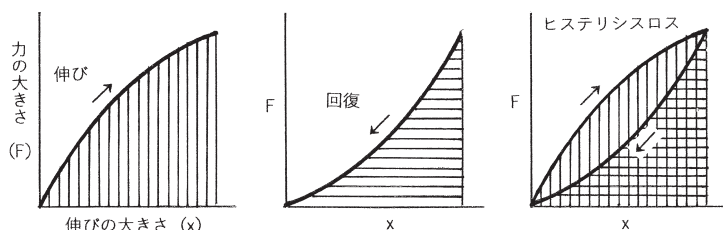


図 5-4 ゴムの弾性エネルギー（縦線部：伸び時、横線部：回復時）

図5-4はゴムに力を加えて引き伸ばし、その後ゆっくりと力をゆるめて元に戻したときの、力と伸びの大きさの関係をグラフにしたものです。ゴム弾性は分子鎖のミクロブラウン運動によって生まれるわけですが、ゴムは無数の分子の集団なので、動くとき分子相互の間に摩擦を生じます。この摩擦によって、ゴムを伸ばしたり縮めたりするときの力の大きさと伸びの關係にずれが生じ、図5-4のグラフのようになります。エネルギーで言えば、伸ばすときに蓄えられたエネルギーが元の形に戻るときに全て使われることなく、その差分のエネルギーが熱エネルギーになるわけです。

この現象はゴムだけでなく磁気や電気にも見られ“ヒステリシス”(履歴現象)と呼ばれており、熱になるエネルギーをロス(損失、無駄)とみなして“ヒステリシスロス”と言われています。

がして転がり摩擦力を感じる実験です。必要な力は静摩擦力や動摩擦力と比べると極端に小さく、転がり摩擦力というよりも転がり抵抗という言葉がふさわしいように思われます。そして矢印が真下に来るようにCDをセットし、CDを前後に揺るように転がして先端の動きを見ると、図6-6に示すように、矢の先端は厚紙の面に垂直に突き刺さるように接し、真上に向かって離れていくことが分かります(この円盤上の一点が描く軌跡は“サイクロイド曲線”と呼ばれています)。

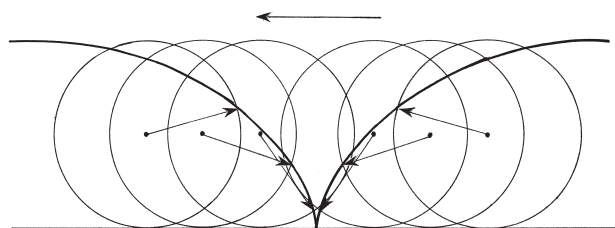


図 6-6 サイクロイド曲線

今度は机の上で、矢印の先が机に触れた状態から前に転がし、矢印がもう一度机に触れるまで1回転させて、先端が進む様子を観察してみましょう。矢印の先は机に触れている瞬間には止まっていますが、宇宙ロケットを打ち上げる時のように垂直に立ち上がって転がっていく方向に速度を上げ、上端でCDの進むスピードの倍の速さで前に進み、頂点を過ぎると徐々に速度を落として垂直に机に触れ、一瞬停止するという動きをしていることが分かります。

④定規に当てて転がり抵抗を確かめる

最後に、厚紙の上にCDの転がる方向と直角に厚さ2mm程度の定規を置き、定規の角に矢印の先端が当たるようにセットして、CDを転がしながら矢印をぶつけてみます。すると図6-7に示すようなCDの前進を止める力と同時に、上に押し上げる力が感じられます。

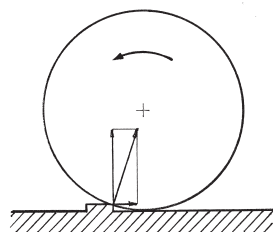


図 6-7 段差の乗り越え

注記・参考文献

まえがき

- 1) ウェブサイト〔自動車新時代戦略会議－経済産業省〕
- 2) 田面木啓介「我が国の燃費及び排出ガス規制の動向」『自動車技術』Vol. 73, No. 9, 2019
- 3) ウェブサイト〔日本のタイヤ産業〕JATMA(日本自動車タイヤ協会)から発行され、毎年更新されています。

第1章 ゴム産業の始まり

- 1) ウェブサイト〔日本のタイヤ産業－日本自動車タイヤ協会〕
- 2) 日本ゴム協会『ゴム技術入門』丸善株、2004年
- 3) 京都文化博物館学芸課『古代メキシコ・オルメカ文明展－マヤへの道』『古代メキシコ・オルメカ文明展－マヤへの道』実行委員会、京都文化博物館、2010年。図1-2および図1-3は、本図録に掲載されている写真をスケッチしたものです。
- 4) 青山和夫『古代メソアメリカ文明』講談社、2007年
- 5) こうじや信三『天然ゴムの歴史』京都大学学術出版会、2013年
- 6) L・H・ブロックウェイ『グリーンウェポン』小出五郎訳、社会思想社、1983年。成沢慎一「天然ゴムの歴史」『日本ゴム協会誌』第55巻、第10号、1982年
- 7) 中川鶴太郎『ゴム物語』大月書店、1984年。「天然ゴム文化圏概念図」のヘベア・ブラジリエンス自生地は本書に掲載されている図を参考に作成しました。また、コロンブスの第2次航海ルートは〔『コロンブス全航海の報告』林屋永吉訳、岩波書店、2011年〕に依っています。なお、メソアメリカ文明圏は遺跡の分布図から推定したものです。
- 8) フランク・B・ギブニー『ブリタニカ国際大百科事典』7、ティビーエス・ブリタニカ、1995年。「ゴム」の条に、歴史・原材料・加工程・消費の4項目を設け、20世紀のヨーロッパにおけるゴム工業の現状がまとめられています。
- 9) S・S・ピックルズ「ゴムの製造と利用」『技術の歴史』第10巻 鋼鉄の時代 下、鈴木高明訳、筑摩書房、1979年。図1-5は本書の図402「1856年に製造され、機械の適用にもちいられたゴム製品の実例(ハンコック)」を参考に作成しました。オリジナルは6)成沢慎一「天然ゴムの歴史」に掲載されています。
- 10) P. ロバートソン『世界最初事典』大出健訳、講談社、1982年。原書は1974年にイギリスで出版された『The Shell Book of Firsts』
- 11) Henry・C・Pearson『Rubber Tires and All About Them』The India Rubber Publishing Company, New York, 1906
- 12) アンドレ・モロワ『英国史』(下)、水野成夫ほか訳、新潮社、1958年。本書ではイギリ

索引 (太字はその用語をメインで用いているページ)

(英数字)		TPMS	199
1-4 シス結合	113	TRA 規格	98
1-4 トランス結合	113	TRX	177
ABS	151	T タイプタイヤ	196
BFグッドリッチ	83	YEAR BOOK	98
BFグッドリッチ社	196	μ	164
BMW	135, 202	(あ行)	
BR	111	アクアブレーキング	154
CASE(ケース)	204	アグリゲート	116
CRS リム	177	旭化成	180, 185
DOT セリアル番号	100	アスファルト舗装	170
EMT	203	アッカーマン・ステアリング	66
E-SBR	114	アプレシブ摩耗	160
ETRTO STANDARDS MANUAL	98	アマゾン河	72
ETRTO 規格	98	アリエル	47, 48, 50
FR 方式	62	アルコキシ基	185
IR	111	アルファベット表示	99
ISO	98	安全型自転車	50
ISO 方式の表示	99	安全タイヤ	200
JATMA 規格	98	アンチロックブレーキシステム	151
JIS 第 2 種タイヤ	79	硫黄	32, 123, 185
JIS 第 3 種タイヤ	79	石畳路	45, 141
JSR	185	イソブレンゴム	111
NR	118	インチアップ	87, 193
OE タイヤ	102	インチ表示	98
OE マーク	101, 102	インナーライナー	83, 97
RR 方式	62	インナーライナーのゴム	121
SAT	143	ヴァルカニゼーション	33
SBR	74, 111, 114 , 118	ウイッカム	72
SI	104	ウインタータイヤ	103, 162
SPring-8	188	ウエットグリップ	178
S-SBR	115, 180, 182, 185	ウエットグリップ性能	186
SSR	201	ウエット路面	166
SST	196	ウェルベース	56
TD リム	177	ウェルベースリム	68

〈著者紹介〉

馬庭孝司（まにわ・たかし）

1937 年鳥根県出雲市生まれ。大阪府立大学工学部応用化学科卒業。

1961 年より住友ゴム工業（株）に勤務し、主に新車用タイヤ及びモータースポーツ用タイヤの開発と技術サービス関係業務を歴任。1996 年よりタイヤ工房やくも主宰、タイヤジャーナリスト。自動車技術会、日本ゴム協会会員。

著書に『自動車用タイヤの知識と特性』（山海堂）、『ドライバーのためのタイヤ工学入門』（グランプリ出版）など、共著に『高性能タイヤの研究』（山海堂）、『ムーバス快走す』（ぎょうせい）など、編著に『グランプリ自動車用語辞典』（グランプリ出版）などがある。

低燃費のための タイヤの基礎知識	
著 者	馬庭孝司
発行者	山田国光
発行所	株式会社 グランプリ 出版 〒101-0051 東京都千代田区神田神保町 1-32 電話 03-3295-0005 (代) FAX 03-3291-4418
印刷・製本	モリモト印刷株式会社