

■読者の皆様へ■

本書は、2001年3月5日に弊社より刊行した『タイヤ工学 改訂版——入門から応用まで』の内容はそのままに、製本方法や装丁を一新した復刻版です。1987年1月12日の初版発行から、上述のように改訂版を刊行し、版を重ねてきました。その後、しばらくの間品切れの状態が続いておりましたところ、再刊のご要望を頂戴するようになりました。今後もこの分野に関わる方々をはじめ、広く興味のある方々にとってタイヤの基本となる知識を得るために必要な書籍であるとの判断から、復刻版として再刊の運びとなりました。

復刻にあたっては、著者の酒井秀男先生がすでにお亡くなりになられていることから、内容の修正は最小限に留めました。また製本は、ページの開きの良い「PUR製本」とし、本書を活用される皆様の利便性を向上させています。

まえがき

本書は、将来タイヤ工業の技術や、自動車工業の技術関係に進もうとしている学生諸氏の入門書として、あるいは、既にこの方面に関係している技術、研究者諸氏の技術書として、また、広く一般に自動車やタイヤに興味をもつ技術者諸氏の参考書として著作されたものである。

タイヤは発明されたときから今日まで、外観はほとんど変わっておらず、極めて単純な形をしている。しかし、技術的には、使われている材料の性能、材料力学や構造力学にもとづく設計製作技術、力学的特性の解明による諸性能の改善等に大きな進歩がみられるが、いずれも複雑で難解なものが多い。そこで、本書の内容は、まず、タイヤについてやさしく説明した後、タイヤの諸特性やタイヤに発生している物理的現象をできるだけ簡単な模型と理論を用いて説明し、タイヤの諸性能とタイヤの構造、材料特性などとの関係についての理解を助けることを目的とする。それ故、必要に応じて数式解による説明と、パーソナルコンピュータを用いた数値解による説明を記載することにする。また、タイヤに関連するものはできるだけ記載することにつとめ、最先端技術についても可能な限り記述することにした。なお、タイヤに発生する物理的現象は、共振振動モード、スタンディングウェーブに代表されるように力学的にもきわめて興味深い現象が多く、工学を志す学生諸氏にとっても、本書が勉学のお役に立つものと信じている。

本書の第1章から第3章までは、初心者のためにタイヤの歴史とタイヤの力学の経緯、タイヤ各部の名称と性質、および、タイヤの種類、大きさなどを表わす規格について簡単に説明する。

第4章では、タイヤの主な素材であるゴムの粘弾性特性と、ゴムの摩擦特性について述べ、次にコードの性質について簡単に述べる。

第5章では、まず簡単な均質材質からなるゴムホースや、チューブの力学について述べたのち、バイアスタイヤのコードアングルと断面形状、続いてラジアルタイヤの断面形状の計算方法について述べる。また、タイヤをモデル化した場合に必要なカーカス部の半径方向のばね定数、横方向のばね定数、周方向のばね定数、ベルトに働く張力等を求める方法について述べる。

第6章は、タイヤの基礎特性として、モデル化されたタイヤの縦剛性、横剛性、垂直軸回りのねじり剛性、前後剛性、縦撓み、エンベロープ特性の計算方法について述べる。

第7章では、タイヤの動的な対路面特性として、転がり半径、転がり抵抗、制動・駆動特性、コーナリング特性、制動・駆動時のコーナリング特性、6分力の理論、コーナリング動特性とこれらに及ぼす主因子の影響について述べる。

第8章では、タイヤと路面間の摩擦係数として、路面の摩擦係数、スキッドレジスタンスナンバー、縦すべり摩擦と横すべり摩擦の関係、およびハイドロプレーニング現象と、それによる摩擦係数の低下について述べる。

第9章では、改訂版タイヤ工学として、タイヤの摩擦と摩耗として、実験方法、実験結果について述べる。なお、改訂した章はSI単位（国際単位）を用いており、新単位と旧単位と混在することになるので、ご容赦願いたい。

第10章から第12章までは、タイヤのユニフォームティ、タイヤの振動特性計測法について述べた後、タイヤの自由振動と接地時の振動解析、高速時に発生するスタンディングウェーブについて述べる。

第13章では、まず音の性質と測定法について述べ、次に、タイヤ騒音試験法、タイヤパターンノイズについて述べる。

第14章では、新たにタイヤの接地特性として、接地面画像処理装置と、それによる測定結果について述べる。

第15章では、その他のタイヤとして、スノータイヤ、スパイクタイヤ、応急用タイヤ、ランフラットタイヤと、新たにタイヤのスキールノイズ、ビードアンシーティングについて述べる。

第16章では、新たにタイヤの熱解析の初歩について述べて終わりとする。

ほかに、タイヤの構造力学としては、赤坂隆名誉教授（中央大）のコード不伸長理論に代表される解析理論や、有限要素法による解析も進んでいるが、きわめて専門的であるので、本書では必要などころのみの簡単な説明にとどめ、深くはその方面の専門書に譲ることにする。また、タイヤに使われている材料の中でも、ゴムの配合技術は非常に重要なものであるが、ここではふれないこととする。

終わりに、この改訂版タイヤ工学は、大阪産業大学産業研究所の刊行助成金を得て出版されたもので、関係者各位に深く謝意を表する次第である。

平成13年1月 酒井秀男

第1章	タイヤの歴史とタイヤ力学の経緯	17
1.1	タイヤの歴史	17
1.2	タイヤ力学の経緯	18
第2章	タイヤの構造と特徴	21
2.1	バイアスプライタイヤ	21
2.2	ラジアルプライタイヤ	23
2.3	ベルテッドバイアスタイヤ	24
2.4	バイアスタイヤとラジアルタイヤの特徴	24
第3章	タイヤホイール各部の名称と規格	26
3.1	タイヤホイール各部の名称と性質	26
	(1) カーカス (2) トレッドとサイドウォール部 (3) プレーカー, ベルト (4) ビード部	
3.2	トレッドパターンの種類と特徴	28
	(1) ラグパターン (2) リブパターン (3) リブラグパターン (4) ブロックパターン (5) 非対称パターン	
3.3	タイヤの種類と規格	30
3.4	リムの輪郭	33
3.4.1	リム各部の名称	35
3.4.2	リムの呼び方	35
第4章	タイヤに使用される材料の特性	36
4.1	ゴムの種類と性質	36
	(1) 天然ゴム (NR) (2) スチレンブタジエンゴム (SBR) (3) ポリブタジエンゴム (BR) (4) ポリイソプレ ンゴム (IR) (5) ブチルゴム (IIR)	
4.2	加硫ゴムの性質	38
4.2.1	ゴム弾性	38
4.2.2	ゴムの補強	39
4.3	ゴムの変形特性	40
4.3.1	材料力学の基礎方程式	40

4.3.2	引っ張り弾性特性	41
4.3.3	ゴムの引っ張り弾性特性のコンピューターシミュレーション	43
4.3.4	伸縮時の履歴特性のシミュレーション	44
4.3.5	せん断変形	47
4.4	ゴムおよびゴムブロックの摩擦特性	49
4.4.1	クーロンの摩擦法則とゴムの摩擦	49
4.4.2	ゴムの摩擦係数の速度と温度による変化	52
4.4.3	ゴムの摩擦の温度と速度の変換	53
4.4.4	ゴムブロックに発生する摩擦力	54
4.4.5	トレッドゴムブロック摩擦係数の圧力, 速度, 温度による変化	56
4.5	タイヤコードの特性	58
4.5.1	コード繊維の素材	58
	(1) レーヨン (2) ナイロン (3) テトロン (4) ケブラー (5) ガラス繊維 (6) スチールワイヤー	
4.5.2	タイヤコードの構造とその特徴	59
	(1) レーヨン (2) ナイロン (3) テトロン (4) ケブラー (5) ガラス繊維コード (6) スチールワイヤーコード	
4.5.3	ファブリック	63

第5章 タイヤの構造力学 64

5.1	タイヤに近い構造物の力学	64
5.1.1	ゴム気球の力学	64
5.1.2	ゴムホースの力学	65
5.1.3	チューブに働く応力	67
5.2	コード入りゴム部材の力学	69
5.2.1	バイアスプライに働く応力	70
5.2.2	コード入りゴムホースの力学	70
5.2.3	ベルト(プレーカー)の弾性定数	71
5.2.4	ベルトの曲げ剛性	73
5.3	バイアスタイヤの構造力学	74
5.3.1	タイヤのコード角度	74
5.3.2	タイヤの自然断面形状の理論	75
5.3.3	バイアスタイヤの自然断面形状の理論	77
5.3.4	バイアスタイヤの自然断面形状の計算例と特徴	78
5.4	ラジアルタイヤの構造力学	82
5.4.1	ラジアルタイヤの断面形状の理論	82

5.4.2 ラジアルタイヤの数値計算例とその特徴	86
(1) 外径と内圧分担率が決定している場合の断面形状 (2) 外径と最大幅が決定している場合の断面形状 (3) カーカスの断面周長が一定である場合	
5.4.3 ラジアルタイヤの断面設計例	91
(1) 乗り心地を重視した断面形状 (2) トレッドショルダー部の歪みを重視した断面形状	
5.5 タイヤカーカスのばね定数の計算	92
(1) 半径方向のばね定数 k_z (2) 横方向のばね定数 k_y (3) 周方向のばね定数 k_x	
5.6 トレッドの弾性定数	96
(1) トレッドゴムブロックの圧縮弾性定数 (2) トレッドゴムブロックの横弾性定数	

第6章 タイヤの基礎特性 100

6.1 タイヤ剛性の定義	100
6.2 タイヤの円環ビームモデル	102
6.3 ベルトの曲げ剛性がきわめて大きい場合の剛性	103
6.3.1 剛体リングをもつタイヤのねじり剛性	103
6.3.2 剛体リングをもつタイヤの横剛性	106
6.3.3 剛体リングをもつタイヤボディの上下剛性	107
6.3.4 剛体リングをもつタイヤボディの回転軸回りのねじり剛性	108
6.3.5 剛体リングをもつタイヤボディの前後剛性	108
6.3.6 カーカスのばね定数の測定方法	109
6.4 ベルトの曲げ剛性が有限の場合の剛性の計算	110
6.4.1 弾性円環状ビームをもつタイヤの横剛性	110
(1) 張力を省略した場合のビームの曲げ変形 (2) 張力を考慮した場合のビームの曲げ変形 (3) 弾性円環状ビームの横変形	
6.4.2 弾性円環状ビームをもつタイヤのねじり剛性	115
6.5 接地形状と接地圧力分布	117
6.6 タイヤの推奨荷重	120
(1) タイヤの推奨荷重算定式 (2) タイヤの断面形状との関係 (3) 推奨荷重と撓みの関係 (同一タイヤの場合)	
(4) 推奨荷重と諸元との関係 (5) 推奨荷重と操縦性能との関係 (6) 推奨荷重と疲労寿命との関係 (7) 推奨荷重と転がり抵抗および発熱との関係	
6.7 タイヤの負荷特性の理論	128
6.7.1 タイヤの半径方向の変形を与える方程式	128
6.7.2 エンベロープ特性の計算	130
6.7.3 平面上でのタイヤの縦撓みの計算	134

第7章 タイヤの動的特性 141

7.1 タイヤの転がり半径 141

7.2 タイヤの転がり抵抗と発熱 143

7.2.1 転がり抵抗の一般的性質 143

7.2.2 ゴムの粘弾性特性の影響 144

7.2.3 転動中のタイヤ接地面に働く力 146

(1) 転動中の接地圧力分布 (2) 接地面に発生する摩擦力とすべり

7.2.4 バイアスタイヤとラジアルタイヤの差異 147

(1) カーカス内部の変形

7.2.5 測定方法による差異 149

(1) 転がり抵抗に及ぼす慣らし走行の影響 (2) 定常法の測定順序による差異 (3) 惰行法と定常速度法による差異 (4) ドラム曲率の影響

7.2.6 試験条件の影響 151

(1) 荷重の影響 (2) 内圧の影響 (3) 外気温度の影響

7.2.7 タイヤの種類による差異 153

(1) タイヤ構造による差異 (2) パターンによる差異

7.2.8 駆動時の転がり損失 155

(1) ドライビングスティフネス (2) 駆動時の転がり抵抗を含む損失力

7.2.9 コーナリング時の損失 157

7.3 タイヤの転動状態と発生する力の定義 159

7.3.1 座標系 159

7.3.2 発生する力の定義 159

(1) XYZ座標系 (2) X'Y'Z座標系

7.3.3 力の間の関係と測定機 160

7.3.4 各種スリップ比の定義 161

7.3.5 用語の定義 162

7.4 コーナリング特性の簡単な説明 163

7.4.1 コーナリングフォースの発生機構 163

(1) ソリッドタイヤモデルによる説明 (2) リジッドベルト (リジッドリング) をもつタイヤモデル (3) FIALAのタイヤモデル (弾性リングモデル)

7.4.2 コーナリングフォースとセルフライニングトルク 164

(1) コーナリングフォースとセルフライニングトルク (2) コーナリングスティフネスとアライニングスティフネス

7.4.3 コーナリングスティフネスに及ぼす主因子の影響 168

(1) ベルトの曲げの影響 (2) 接地長さの影響 (3) タイヤの垂直軸回りのねじり変形による補正 (4) タイヤパターンの影響

7.4.4 コーナリングパワー	170
(1) コーナリングパワー (2) コーナリングパワーに及ぼす荷重, 内圧の影響	
7.5 制動・駆動特性, 制動・駆動時のコーナリング特性の簡単な説明	172
7.5.1 制動・駆動特性	172
7.5.2 制動・駆動時のコーナリング特性	176
(1) 駆動時のコーナリング特性の最も簡単な例 (2) 水平面内の力と換算式 (3) 横力に及ぼす制動・駆動力の影響 (4) ゴムブロック形状の影響 (5) 制動・駆動時にパターン非対称性により発生する力 (6) コーナリングフォースに及ぼす牽引力の影響	
7.6 ゴムブロックの摩擦モデル	184
7.7 制動・駆動特性の理論	185
7.7.1 摩擦係数が速度によって変化しない場合	185
7.7.2 摩擦係数が速度によって変化する場合	187
7.8 コーナリング特性の理論	190
7.8.1 スリップ角が小さい場合	190
7.8.2 スリップ角が大きい場合	194
7.9 制動・駆動時のコーナリング特性の理論	200
7.9.1 スリップ角が小さい場合	200
7.9.2 スリップ角, スリップ比が大きい場合	207
7.10 タイヤに発生する6分力の厳密な計算機シミュレーション	218
7.10.1 タイヤに発生する6分力の理論	218
7.10.2 シミュレーション計算結果の一例	223
(1) 接地面内に発生する力とすべり (2) 諸因子の影響	
7.11 コーナリング動特性	234
7.11.1 低速走行時のコーナリング動特性の理論	234
(1) マクロ的なタイヤ模型による説明 (2) 蛇行特性の構造モデルによる説明	
7.11.2 高速走行時のコーナリング動特性	243
7.11.3 ステップ操舵時の横力の応答	244
7.12 タイヤのコーナリング試験機と測定上の注意点	247
7.12.1 コーナリング試験機	247
(1) 室内試験機 (2) 実路上タイヤ試験機 (3) 実車による試験 (4) 写真によるスリップ角の測定方法	
7.12.2 タイヤ特性測定上の注意事項	251
(1) 慣らし走行がタイヤ特性の測定値に及ぼす影響	
7.13 乗用車用タイヤのコーナリングパワーの推定と試験機間の換算方法	253
7.13.1 標準タイヤのコーナリングパワーの実験式	253
7.13.2 試験機間の測定データの換算方法	254
7.14 急激なコーナリング時に発生する座屈	257

7.14.1	サイドウォールに発生する座屈	257
7.14.2	ベルトに発生するバックリング	258

第8章 タイヤと路面間の摩擦 263

8.1	路面の摩擦係数測定機	263
8.1.1	ポータブルスキッドレジスタンスナンバー測定機	263
8.1.2	トレーラー式SN測定機	263
8.1.3	バス式SN測定機	264
8.1.4	サーブ・フリクションテスター (SFT)	264
8.1.5	ミュームーター (Mu-Meter)	264
8.2	路面の摩擦機構の説明	266
8.3	タイヤのすべり摩擦係数	267
8.3.1	タイヤの縦すべりおよび横すべり摩擦係数	267
8.3.2	縦すべり摩擦係数の乗用車タイヤとトラック・バス用タイヤの差異	269
8.4	道路の摩擦係数 (すべり抵抗)	269
8.5	ハイドロプレーニングによるタイヤのすべり	271
8.5.1	ハイドロプレーニング現象の説明	271
8.5.2	ハイドロプレーニングが制動特性およびコーナリング特性に及ぼす影響	273
(1) 制動特性に及ぼす影響 (2) コーナリング特性に及ぼす影響		

第9章 タイヤの摩擦と摩耗 277

9.1	タイヤ摩耗の実験装置	277
9.2	スリップ角が小さい場合の摩耗	280
9.2.1	慣らし走行による変化	280
9.2.2	摩耗率が最も小さくなるスリップ角	280
9.2.3	摩耗率のスリップ角, 横力および横力係数による変化	282
9.2.4	荷重による変化	283
9.2.5	内圧による変化	283
9.2.6	溝本数による変化	284
9.2.7	走行速度と温度による変化	285
9.2.8	摩耗試験の再現性	285
9.2.9	タイヤの種類による差異	286
9.2.10	摩耗指数	286

9.2.11 セフティウォークの摩耗の影響	288
9.3 滑り速度が大きい場合の摩擦と摩耗	288
9.3.1 摩耗率の定義	288
9.3.2 マイカ粉の効果	289
9.3.3 摩擦係数及び滑り摩耗率の速度による変化	290
9.3.4 エネルギー摩耗率の滑り速度による変化	291
9.3.5 エネルギー摩耗率の温度による変化	291
9.3.6 エネルギー摩耗率の接触圧力による変化	292
9.4 ホイールアライメントとタイヤの偏摩耗	293
9.5 タイヤのスリップ痕	295
(1) 制動スリップ痕 (2) コーナリング痕 (3) コーナリング制動痕と駆動痕	

第10章 タイヤのユニフォーミティ 299

10.1 ランナウト (Runout)	299
(1) ラジアルランナウト (Radial Runout) (2) ラテラルランナウト (Lateral Runout)	
10.2 ノンユニフォーミティによって発生する力	301
10.2.1 発生する力の説明と測定方法	301
10.2.2 ユニフォーミティの次数成分とその影響	304
(1) 低周波振動 (2) 中周波振動 (3) 高周波振動	
10.2.3 ユニフォーミティが車両の運動に及ぼす影響	305
(1) サイドスリップ量との関係 (2) 手放し走行時の車両の横流れとの関係	
10.2.4 高速走行時のユニフォーミティ	308
10.2.5 その他のユニフォーミティ	309

第11章 タイヤの振動／乗り心地特性 310

11.1 静的突起乗越特性	310
11.2 突起乗越時の回転角速度変動による前後力	311
11.3 タイヤの基本振動数	313
11.3.1 接地していないタイヤの基本振動数	313
(1) 半径方向の振動 (2) 横方向の振動 (3) 半径線回りのねじり振動 (4) 回転軸回りの回転振動	
11.3.2 接地し、ベルトの一部が固定されている場合の基本振動数	315
(1) 接地点回りの前後振動 (2) 接地点回りの横振動	
11.4 タイヤの振動特性とその計測法	318

11.4.1	タイヤの振動特性計測法	318
11.4.2	タイヤの振動特性	321
11.5	タイヤの半径方向の振動理論	325
11.5.1	円環状ビームの振動方程式	325
11.5.2	非接地時の自由振動	325
11.5.3	接地時の振動	326
11.6	動的突起乗越特性	334

第12章 タイヤのスタンディングウェーブ 336

12.1	タイヤのスタンディングウェーブの簡単な説明	336
12.2	バイアスタイヤのスタンディングウェーブ	338
12.2.1	薄膜の理論	338
	(1) $V < V_c$ のときの解 (2) $V > V_c$ のときの解 (3) 遠心力効果による臨界速度の補正 (4) スタンディングウェーブの発生と消費馬力	
12.2.2	実験による検討	344
	(1) 臨界速度の求め方 (2) 臨界速度の実測値と理論値の比較 (3) 消費馬力の実測値と理論値の比較	
12.3	ラジアルタイヤのスタンディングウェーブ	346
12.3.1	無限遠ビームの方程式による解	347
12.3.2	弾性円環状ビームの振動方程式による解	350

第13章 タイヤ騒音 353

13.1	音の一般的な性質	353
13.1.1	音の三要素	353
	(1) 音の高低 (2) 音の強弱 (3) 音色	
13.1.2	発音体	354
	(1) 絃の横振動 (2) 気柱の振動	
13.1.3	音階と和音	354
13.2	騒音に対する人間の感覚と騒音計	356
13.2.1	騒音に対する人間の感覚	356
13.2.2	騒音計	356
13.2.3	音響インテンシティ計測法 (AI法)	359
13.3	タイヤ騒音の計測法	359
	(1) 実車惰行試験 (2) 単体台上試験 (3) 単体実路試験 (4) 各試験方法の比較 (5) AI法による発生源の検討	

13.4 タイヤの騒音発生機構 364

(1) ボンピングノイズ (2) 衝突音 (3) トレッドおよびサイドウォールの振動によるノイズ (4) スキールノイズ (Squeal noise)

13.5 イレギュラーピッチ効果のシミュレーション 365

13.5.1 イレギュラーピッチノイズに対する人間の感音反応 365

13.5.2 感音反応実験結果のタイヤパターンへの応用 366

13.5.3 パターンノイズのシミュレーションによる検討 366

(1) ラグパターンのノイズの発生機構 (2) 音圧形状のモデル化 (3) ピッチ間隔のとり方 (4) 2ピッチバリエーションの検討 (5) 3ピッチバリエーションの検討

13.5.4 実験による検討 374

13.6 トレッドパターン設計上の注意点 377

(1) 耐摩耗性 (2) 低騒音性 (3) 換縦性安定性 (4) ユニフォームティ (5) 4輪駆動車用タイヤ (6) 外観商品性

第14章 タイヤの接地特性 379

14.1 接地圧の測定と画像処理装置 379

14.1.1 光の吸収率と接地圧力の関係 381

14.1.2 画像処理 382

14.2 タイヤの接地特性 383

14.2.1 圧力分布の荷重による変化 383

14.2.2 圧力分布の横力による変化 384

14.2.3 コーナリングによる偏摩耗 384

14.2.4 圧力分布の駆動力による変化 385

14.2.5 スタッドレスタイヤの接地圧力分布 386

14.2.6 駆動輪と非駆動輪の摩耗の差異 387

第15章 その他のタイヤ特性 389

15.1 スノータイヤ, スパイクタイヤ 389

15.1.1 圧雪路面上でのスノータイヤの性能 389

(1) スノータイヤ (2) スノータイヤの雪上性能 (3) ゴムブロックの非線形変形の影響

15.1.2 氷上におけるスパイクタイヤの性能 394

(1) スパイクタイヤ (2) スパイクタイヤの氷上性能

15.2 応急用タイヤとランフラットタイヤ 397

15.2.1 Tタイプ応急用タイヤ 398

15.2.2	折りたたみ式応急用タイヤ	399
15.2.3	ランフラットタイヤ	401
	(1) デノボタイプ ランフラットタイヤ (2) Nタイプ ランフラットタイヤ (3) 二重構造式ランフラットタイヤ	
15.3	二輪車用タイヤの特性	403
15.3.1	二輪車用タイヤの横力特性	404
	(1) 二輪車用タイヤの横力特性の概要 (2) 二輪車用タイヤの横力特性の簡単な理論 (3) 二輪車用タイヤのコーナリング動特性	
15.3.2	二輪車の定常円旋回特性とタイヤのスティフネス	408
	(1) 旋回特性とタイヤのスティフネス (2) 実走行時のキャンバースラストの過不足	
15.3.3	二輪車に発生する微小振動とタイヤのコーナリング動特性	411
15.4	レース用タイヤ	413
15.4.1	レース用タイヤの一般的な特性	413
15.4.2	ゴムブロックの非線形変形の影響	414
15.5	タイヤのスキルノイズ	416
15.5.1	スキルノイズのモデルによる検討	416
15.5.2	スキルノイズの実験方法	418
15.5.3	スキルノイズの周波数特性	419
15.5.4	スキルノイズのスリップ角による変化	420
15.5.5	スキルノイズの横滑り速度による変化	420
15.5.6	スキルノイズの横力係数による変化	420
15.5.7	スキルノイズに及ぼす転動速度の影響	421
15.5.8	スキルノイズに及ぼす荷重と内圧の影響	421
15.5.9	スキルノイズに及ぼす溝深さの影響	422
15.5.10	スキルノイズに及ぼす温度の影響	422
15.5.11	スキルノイズに及ぼすトレッドゴム配合の影響	423
15.6	タイヤのビードアンシーティング	423
15.6.1	ビードアンシーティングの静的試験結果	423
15.6.2	ビードアンシーティングの動的試験結果	425

第16章 タイヤの熱工学的解析の初歩 427

16.1	ゴム板の熱的解析	427
16.1.1	ゴム板が水中で冷却される場合	428
16.1.2	ゴム板が熱水中で加熱された後に水で冷却される場合	430
16.1.3	ゴム板が空気中で冷却される場合	431
16.1.4	ゴム板が高温空気中で加熱された後に空気中で冷却される場合	433

16.1.5	ゴム板が熱水中で加熱された後に空気中で冷却される場合	434
16.1.6	加硫におよぼすゴム厚さの影響について	435
16.2	トレッド温度とスキッド痕の熱的解析	436
16.2.1	自由転動時のタイヤトレッド温度変化	436
16.2.2	タイヤの急制動・急旋回時のトレッド摩擦温度	439
16.2.3	発熱によるスキッド痕発生モデルによる検討	442

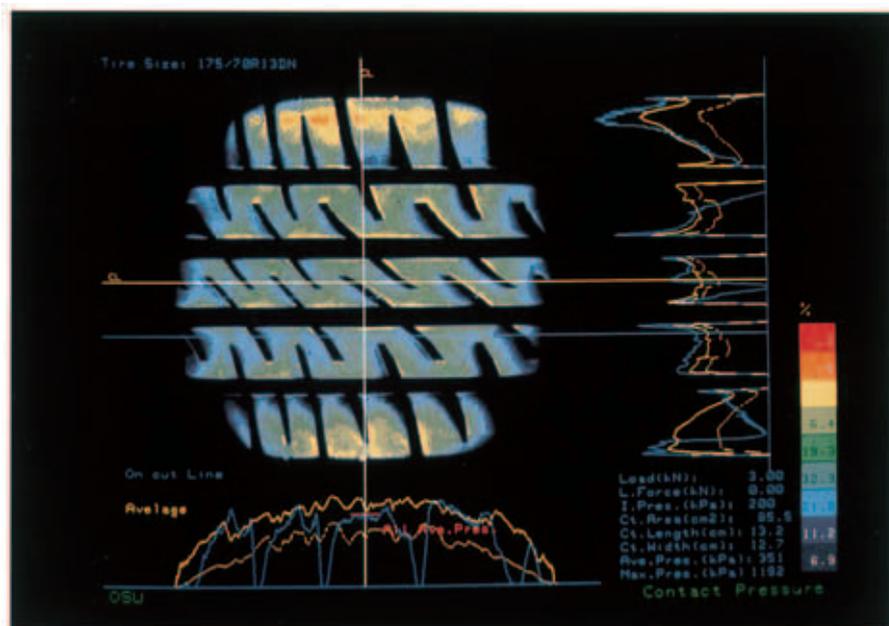
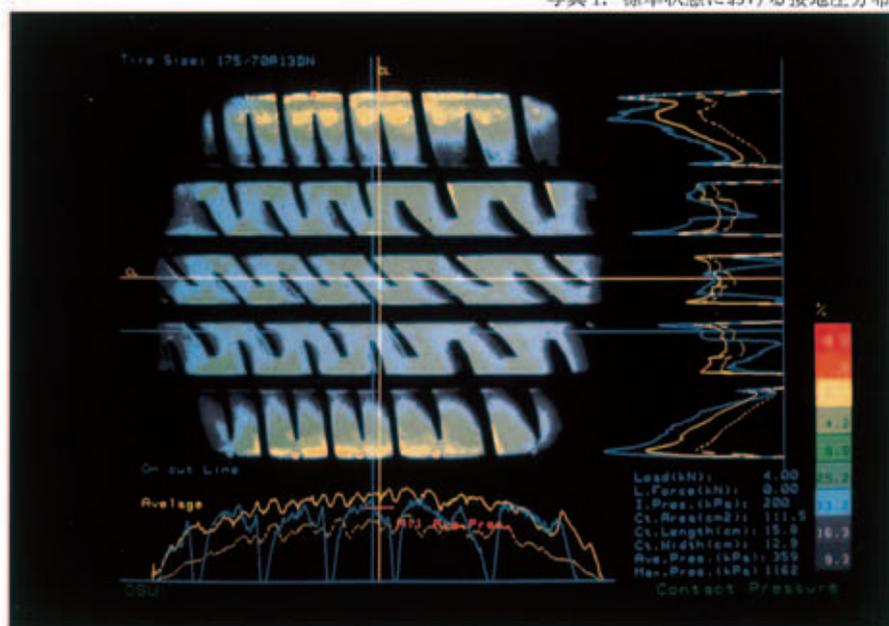


写真1. 標準状態における接地圧分布



転動方向→

写真2. 過荷重における接地圧分布

第1章

タイヤの歴史とタイヤ力学の経緯

1.1 タイヤの歴史

空気入りタイヤの原型となるものは、1845年にスコットランドのトムソン(R. W. THOMSON)によって発明され、特許出願がなされたが、実用化には程遠いものであったといわれている。その後、1888年にトムソンと同じスコットランドのダンロップ(J. B. DUNLOP)が、種々改良考案を加えて、ほぼ実用に近いものの製作に成功している。しかしこれは、カーカスに使用したキャンパスの縦糸と横糸が互いに交差し接触しているため、タイヤが転がるたびに起こる接地部での変形により、縦糸と横糸が擦れ合い、短時間で擦り切れるので、耐久性は劣るものであった。その後、1915年頃に、すだれ織りしたファブリックをゴム層を挟んでコードが交互に交差するように張り合わせた、いわゆるクロスプライ構造にすることによって耐久性は飛躍的に向上した。

一方、材料面においても、それまで使われていた木綿にかわって、木綿を薬品で再処理して繊維化した強力人絹(レーヨン)が使われるようになり、耐久性は大幅に向上した。その後、コード(糸)としてナイロン、テトロン、スチールワイヤーが使われるようになり、最近ではケブラー、炭素繊維などが試用されている。また、ゴムについても天然ゴムにかわる各種の合成ゴムが生産されるようになったこと、補強剤やゴムの性質を改良する薬品類の開発、生産技術の向上なども、タイヤの耐久性や、その他の性能の向上に大きく寄与している。

以上のバイアス構造のタイヤに対し、現在普及しているラジアル構造のタイヤは、イギリスにおいて1913年に特許出願がなされたが、当時の技術では実用化までには至らなかった。しかし、1946年にフランスのミシュラン社が、スチールベルト(ブレーカー)をもつラジアルタイヤの特許を出願し、翌年には実用化に成功して、1965年にはフランス市場のほぼ70%を獲得するに至った。これに対し、イタリアのピレリー社は1954年に、繊維ブレーカー(強力人絹)をもつラジアルタイヤの特許を出願し、実用化に成功した。我国に

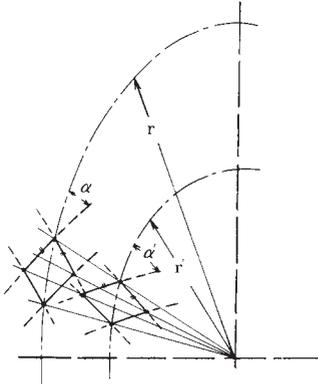


図 2.1.2 バイアスタイヤのコード角度の変化

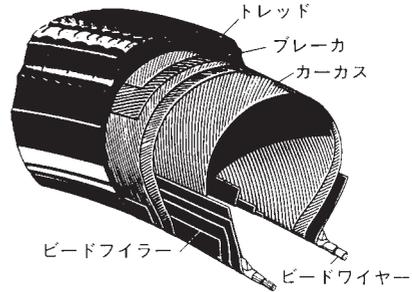


図 2.1.3 バイアスタイヤの構造

側端は、ビードワイヤリングに巻き付けられて固定された後、カーカスの外周には、トレッドラバー、サイドウォールラバーなどが張り付けられてタイヤの生カバー（グリーンカバー）が完成する。なお、必要に応じて、カーカスに近いコード角度をもつブレーカーが張り付けられることもある。

完成した生カバーは成形ドラムから外した後、図 2.1.1 に示すように、ビード部の間隔を $A \rightarrow B$ 、 $C \rightarrow D$ へと狭めると同時に、内部にチューブ状のエアバッグを入れて膨らませ、カーカス部がドーナツ状にシェーピングされることによって生タイヤができあがる。なお現在では、このシェーピングは加硫釜に入れられると同時に自動的に行なわれる。

成形ドラム上での第1プライの2本のコードと、第2プライの2本のコードとが、図 2.1.2 に示すように、対角が $2\alpha'$ となる菱形を形成しており、ドーナツ状に膨らんだ場合には周長が長くなるので、コードがつくる菱形はパンタグラフのように変形して周方向に伸びる。ここで、成形ドラムの半径を r' とし、ドーナツ状のカーカス上の半径 r の点の菱形の角度を 2α とすれば、菱形の対角線の長さが周長に比例するという関係から、次の関係式が成立する。

$$\frac{\cos \alpha}{r} = \frac{\cos \alpha'}{r'} \quad (2.1.1)$$

このようにしてできあがった生タイヤは、金型に入れられ、内部に高圧、高熱が加えられて加硫される。ゴムの加硫は化学反応であり、混入されている硫黄がゴム分子を結合させ、力を加えても加硫された当時の形に復元するような高弾性体となるので、タイヤは加硫された金型の形を保つようになる。完成されたバイアスタイヤの構造図を図 2.1.3 に示す。なお、バイアスタイヤの偏平比（断面高さ/幅）はコード角度によって決まるものであり、通常のタイヤのクラウン部でのコード角度は $35 \sim 40^\circ$ である。

バイアスタイヤの特徴は、後述するラジアルタイヤに比べて成形工程が簡単であり、加硫時に加えられる高内圧によってコードが伸長されるとともに、ビード部で適度にすべり、

●乗用車用バイアスタイヤの例

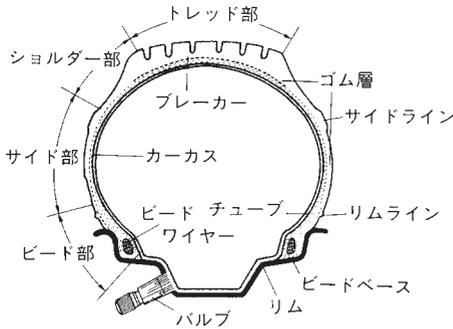
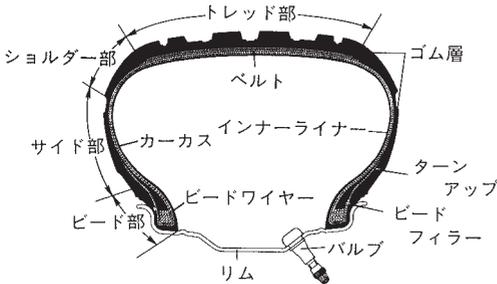


図 3.1.1 バイアスタイヤの各部の名称

●乗用車用ラジアルタイヤの例



●トラック・バス用ラジアルタイヤの例

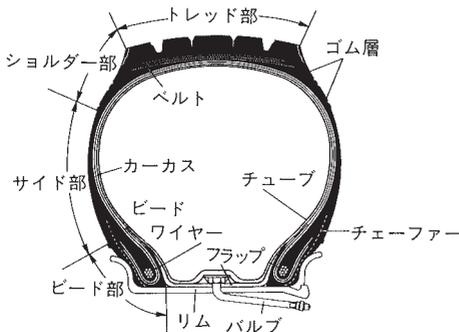


図 3.1.2 ラジアルタイヤの各部の名称

トレッドの摩耗はタイヤの寿命を決める第一の要素であり、対摩耗性のよいゴム材が用いられる他、最近では、濡れた路面上でのすべり抵抗、すなわち、ウェットスキッド特性のよい、転がり抵抗の少ないゴム材が使われるようになってきている。

サイドウォールはタイヤの側面を保護するのが主目的であるが、走行中にたえず屈曲や伸縮を受けるので大歪みに強く、また、紫外線やオゾン老化に強いゴム材が用いられる他、サイズ、メーカー名、その他の表示があり、外観上、汚れの少ないものが望まれる。

(3) ブレーカー、ベルト

バイアスタイヤの場合、カーカスとトレッドの間に、トレッド幅に近い幅のバイアスプライからなるブレーカーを設けることがある。これは、路面の突起などからの衝撃を吸収し、カーカスを保護するためのもので、弾性率が大きく異なるトレッドゴム層とカーカス層との間に、中間的な層を入れることによって、はく離や、対カット性を向上させることを目的としたものである。これに対し、ベルトッドバイアスタイヤのブレーカー(ベルト)は、伸びの小さい剛性の大きい、たとえばグラスファイバーよりなるベルトによって、操縦性を確保しようとするものである。

ラジアルタイヤの場合、カーカスコードが半径方向を向いているため、周方向の強度が小さく、また、ベルトで締め付けなければ偏平比(断面高さ/幅)を小さくすることができない。このように、ベルトは単なるブレーカーではなく、半径方向に圧縮する役目を

次に、図5.4.5に示すように、ベルトがカーカスと並行であるとすれば、ベルトの法線方向とZ軸とのなす角を δ とすれば

$$\cos \delta = \frac{1}{(1+y'^2)^{1/2}} \quad (5.4.22)$$

これから、ベルト周方向に働く張力 T_0 は次の式で求められる。

$$T_0 = \int_{z_p}^{z_d} 2z_p T_b \frac{y' dz}{(1+y'^2)^{1/2}} \quad (5.4.23)$$

なお、(5.4.21)式、(2.4.23)式は、直接数式で求めなくても計算機で断面曲線を計算する中で、微小線素またはそれに働く張力の和として容易に求めることができる。

5.4.2 ラジアルタイヤの数値計算例とその特徴

(1) 外径と内圧分担率が決定している場合の断面形状

カーカスの外半径 z_p 、ベルトの圧力分担率(τ_0, a)、ベルト幅(ベルト半幅 B_w)、リム形状が決定している場合の断面形状の計算は(5.4.14)式、(5.4.16)式、(5.4.18)式の積分計算によって求められる。ただし、カーカスのリムに対するフィティングラインは図5.4.7に示すように、リムフランジからある厚さ(本計算の場合 $CT = 4\text{ mm}$)だけ内側に入った円弧とする。

この積分計算において、未知の定数は、タイヤ幅が最大となる半径座標 z_m と、ベルト側端での半径座標 z_d である。ただし、 z_d は計算の途中で幅座標がベルト端(B_w)に達した時点での半径座標として求められる。それ故、半径座標 z_m を変化させて、くり返し収れん計算を行ない、カーカス曲線がリムフィティングラインに接するときの断面形状を求めればよい。

この計算のフローチャートを図5.4.6に示す。まず、半径座標 z_m 、ベルト側の半径座標 z_d の概算値を入れる。たとえば、図5.4.10のプログラムでは、 z_m としては外半径 z_p とリムベース B_L の中間値、 z_d は外半径 z_p より数mm下がった点を用いている。

次に、クラウン部の断面形状を計算する。それにはまずクラウン部の曲率半径を計算し、中心部の狭い範囲(たとえば10mm)内の形状は円弧として計算する。その後、ベルト幅 B_w に達するまでは(5.4.14)式の積分計算を行ない、幅座標がベルト幅に達した時点での半径座標を z_d とする。

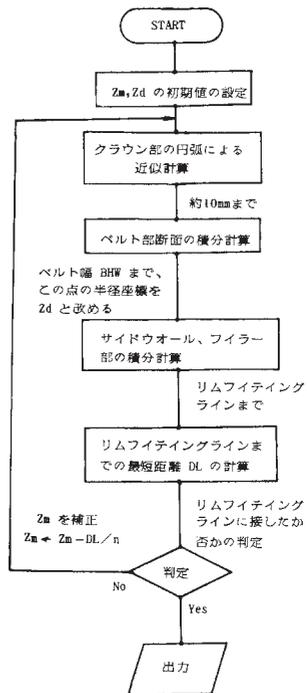


図5.4.6 断面形状計算のフローチャート

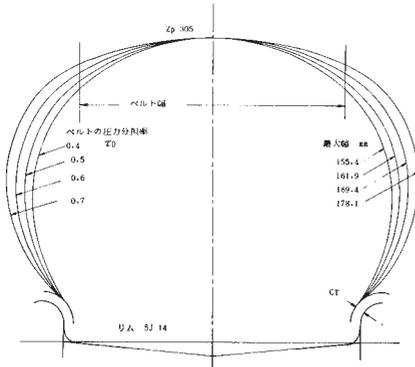


図 5.4.7 ベルトの圧力分担分布が一様の場合、ベルトの圧力分担率による断面形状の変化

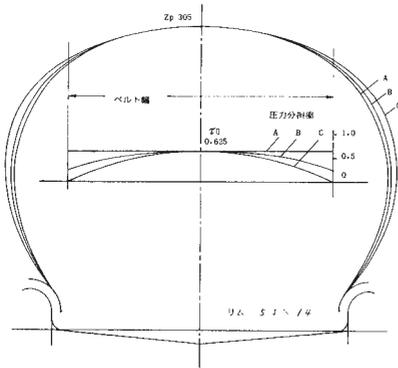


図 5.4.8 ベルトの圧力分担形状変化による断面形状の変化

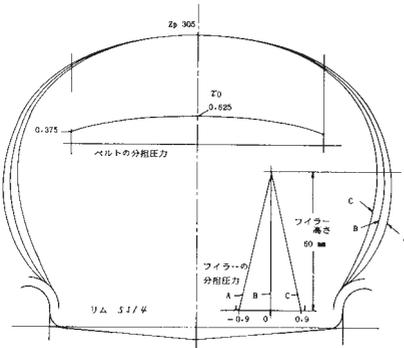


図 5.4.9 フィラーの圧力分担率の変化による形状変化、ベルトの圧力分担率は一定とする

次に、(5.4.16)式のサイドウォール部の積分計算と(5.4.18)式のフィラー部の積分計算を行ない、半径座標がリムベース、または幅座標がリムフィティングラインより小さくなった時点で計算を中止する。

次に、断面形状曲線が、リムフィティングラインに最も近づいた距離 DL を計算し、フィティングラインより上にあれば正、下にあれば負とする。さらに、 z_m を補正して、最初から再度計算を行なうのであるが、 z_m を補正する方法としては、リムフィティングラインとの距離 DL を用い、この距離の $1/n$ だけ z_m を小さくした値を用いる。

このように取れんさせようとする部分を数値化し、その値で変数を補正して計算する方法をくり返すことによって容易に取れんさせ、目的とする断面形状を求めることができる。しかし、 n の値が大き過ぎると取れん性が悪く、小さくすると取れん性はよくなるが、小さ過ぎると発散するので、適当な値を見つけることが必要となる。

図5.4.7は、外半径、その他が一定で、ベルトの圧力分布は一様($a=0$)であり、圧力分担率 τ_0 を変化させた場合の断面形状変化を示す。ただし、フィラーの圧力分担はないもの($T_e=0$)とした。これから、175/70 R 14の場合のベルトの圧力分担率は0.6前後であることがわかる。

図5.4.8は上記とほぼ同様に、中心の圧力分担率を一定($\tau_0=0.625$)とし、圧力分布形状を一様分布($a=0$)、放物線状分布($a=0.625$)と、その中間の形状($a=0.375$)に変化させた場

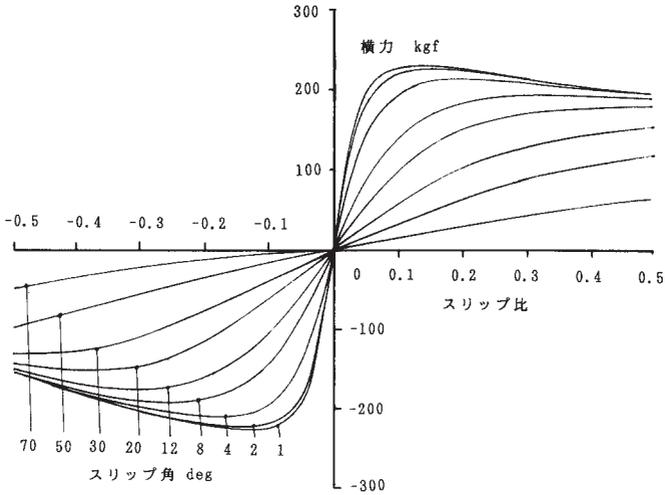


図 7.9.11 スリップ角が大きい場合の制動・駆動力のスリップ比による変化

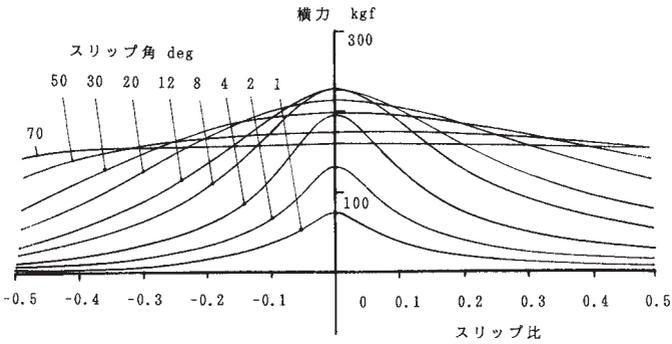


図 7.9.12 スリップ角が大きい場合の横力のスリップ比による変化

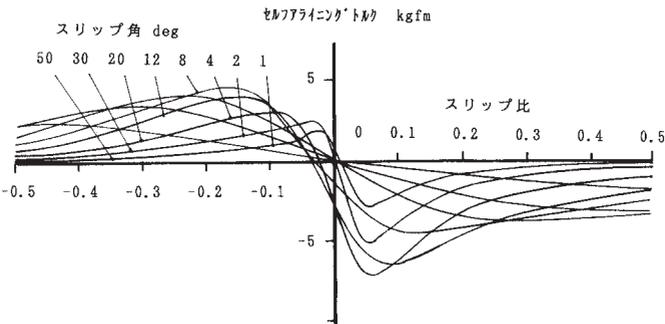


図 7.9.13 スリップ角が大きい場合のセルフアライニングトルクのスリップ比による変化

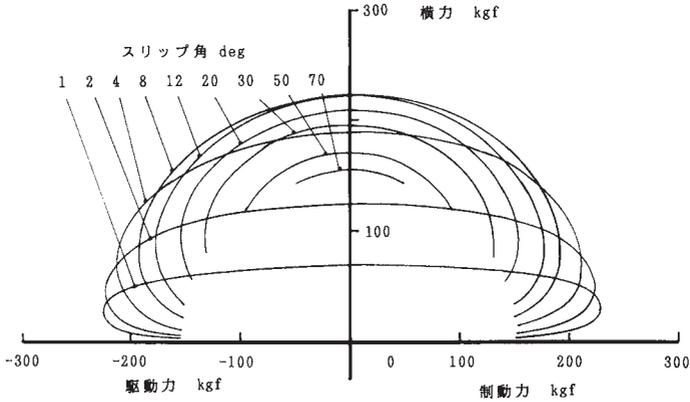


図 7.9.14 スリップ角が大きい場合の横力の制動・駆動力による変化

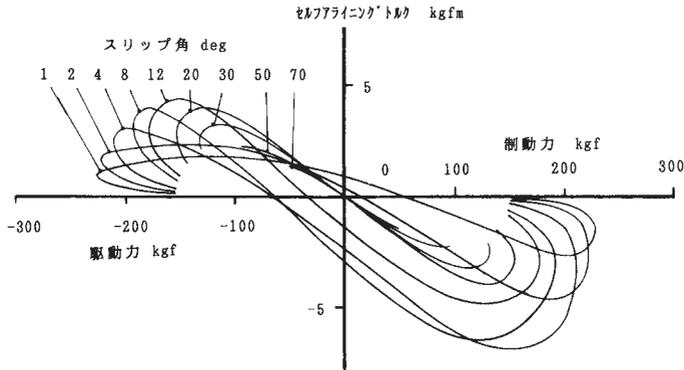


図 7.9.15 スリップ角が大きい場合のセルフアライニングトルクの制動・駆動力による変化

次に、(7.3.1)式を用いて、制動・駆動力～横力の関係から、牽引抵抗、牽引力～コーナリングフォースの関係に変換し、牽引抵抗、牽引力のスリップ比による変化とコーナリングフォースのスリップ比による変化を図7.9.16、7.9.17に示す。また、これらの関係から求めたコーナリングフォースの牽引抵抗(減速力)、牽引力(加速力)による変化を図7.9.18に示す。なお、セルフアライニングトルクの牽引抵抗、牽引力による変化は、図7.9.15とほとんど同じであることから省略する。

図7.9.19は、カーカスの横ばね定数を変化させた場合(横剛性、垂直軸回りのねじり剛性がともにカーカスの横ばね定数に比例するとして計算)の、コーナリングフォースおよび

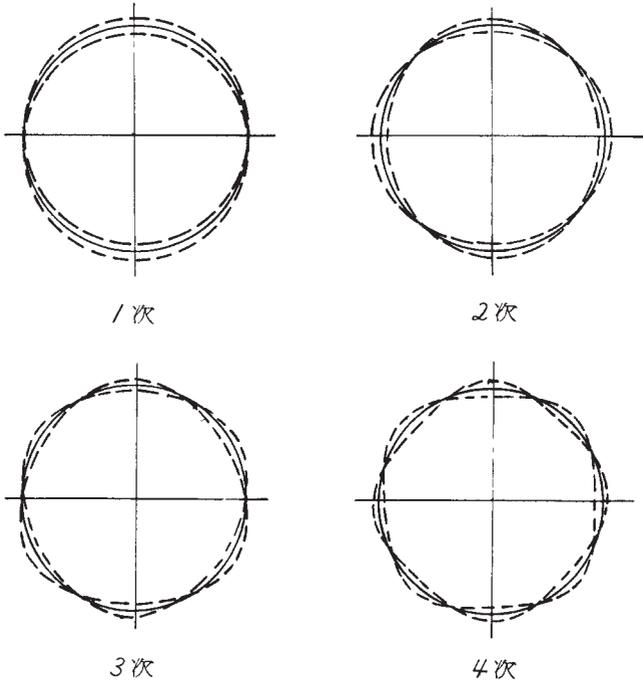


図 11.4.6 下端を加振した場合の振動次数と振動波形(自由振動)
 タイヤ:175/70SR-13 内圧:2.0kgf/cm²

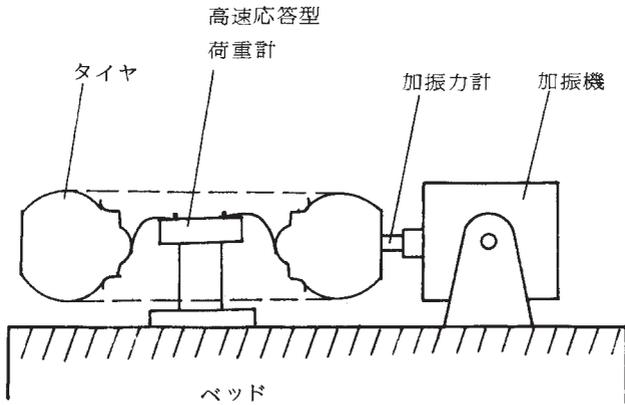


図 11.4.7 カの伝達関数の測定

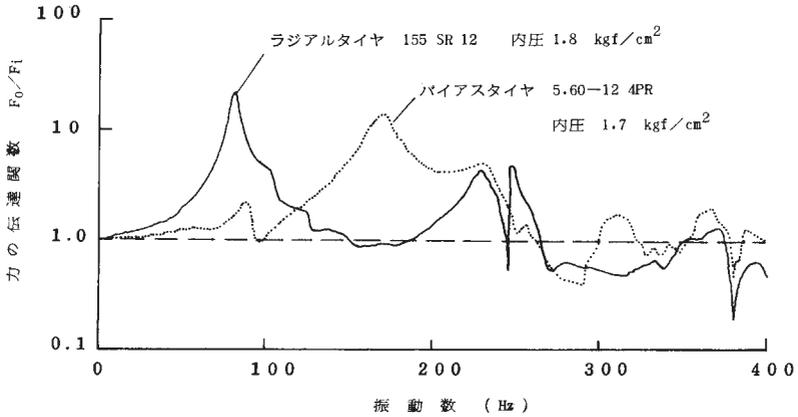


図 11.4.8 タイヤの伝達関数測定例 静荷重なし

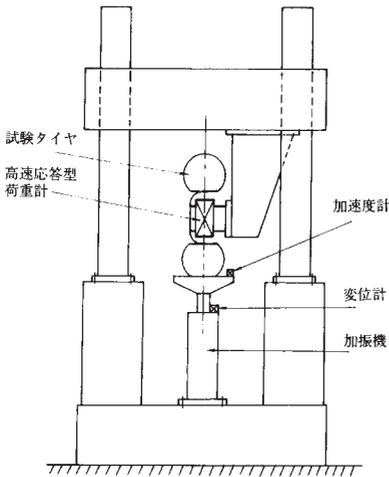


図 11.4.9 タイヤの振動試験機 概要図

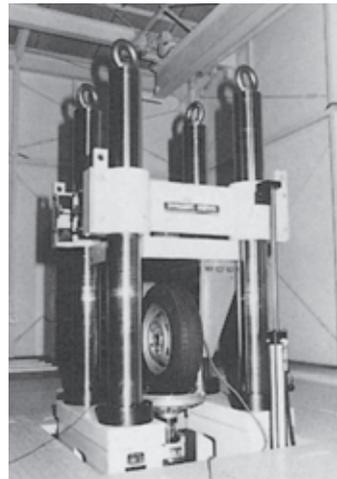


図 11.4.10 JARIの振動試験機 最大加振力 4000kgf 最高振動数500Hz

静荷重をかけた状態でサインスイープ加振を行ない、動剛性(動ばね定数)を測定したものである。動剛性の場合、前者の無負荷時の伝達関数に比べて、2次以上の共振振動がでやすいことがわかる。これは、負荷撓みによりトレッド全体の上下の対称性がくずれることによるものと考えられる。また、ラジアルタイヤはバイアスタイヤに比べて、1次の共振振動数付近と270 Hz ~ 400 Hz の動剛性が高く、ラジアルタイヤのハーシネスと車室内騒

用されている。

(2) N タイプランフラットタイヤ

N タイプのランフラットタイヤ⁵⁾は図15.2.6に示すように、サイドウォール部が強化されており、パンク時にも応急的に走行できるタイヤである。また二重ビードによって、ビードがリムベースからはずれるのを防止している。このタイヤの特徴は前述のデノボタイヤに比べて、パンクの時の性能低下が小さいことにある。

(3) 二重構造式ランフラットタイヤ

二重構造式のランフラットタイヤは⁶⁾⁷⁾図15.2.7に示すように、二重のタイヤカーカスをもち、空気圧が独立に、しかも内側タイヤには、外側タイヤよりも若干高く入れられている。そして、外側のタイヤがパンクしたときには、内側タイヤが荷重を受け持つようになっている。パンク状態で転動した場合、内側タイヤの周長と外側タイヤの周長が異なるので両者間に摩擦が発生するが、中間層に潤滑油を入れることによって、これを減じている。

これに似た構造のものとしては図15.2.8に示すように、内側タイヤにソリッドタイヤを用いたランフラットタイヤがある⁴⁾⁹⁾。しかし、機能的には空気入りのものが優れていると考えられる。二重構造式ランフラットタイヤのパンク時の性能は前二者の中間的なものになり、構造が二重であることから、リムの脱着が複雑になるものと予想される。このタイヤは我国のESV(安全実験車)に付けられた実績があり、それ

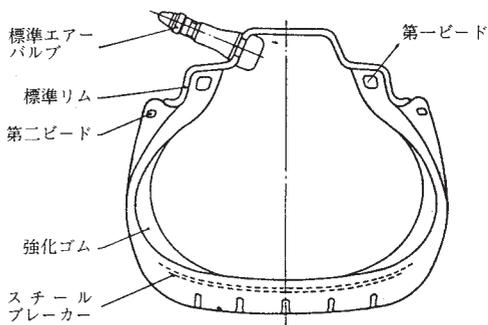


図 15.2.6 Nタイプのランフラットタイヤ

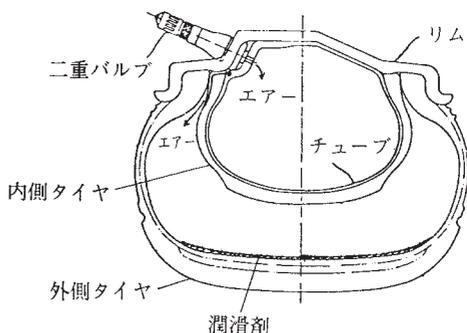


図 15.2.7 二重構造式ランフラットタイヤ(空気入り式)

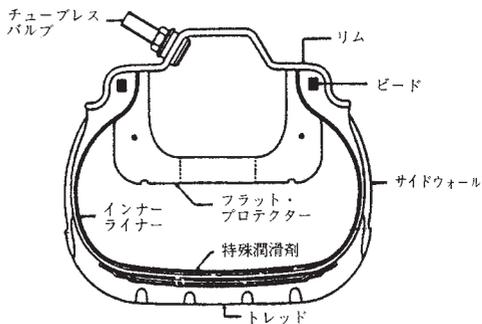


図 15.2.8 二重構造式ランフラットタイヤ(ソリッド式)

参 考 文 献

*本文中における以下の文献の引用は文献番号に両括弧()を付けて示し、各章末の文献は片括弧)を付けて示す。

- (1) J.Bradley, R.F.Allen ; The Behaviour of Rubber Tyred Wheels, The Automobile Engineer, Vol. 21 , No. 277 , Feb. 1931 , P - 73 - 78.
- (2) R.D.Evans ; Properties of Tires Affecting Riding, Steering and Handing, SAE Journal, Vol. 36 No. 2 , Feb. 1935 , P - 41 - 49.
- (3) R.Schuster, P.Weichsler ; Der Kraftschluss zwischen Rad und Fahrbahn, ATZ 20. Heft, 25. Oktober 1935.
- (4) P.Koesler, H.Klaue ; Der Kraftschluss zwischen Rad und Fahrbahn, ATZ 1937 Heft 9, P - 244 - 229.
- (5) A.W.Bull ; Tire Behavior in Steering, SAE Journal, Vol. 45 No. 2, Aug. 1939, P - 344 - 350.
- (6) J.P. joy, D.C.Hartley ; Tyre Characteristics as Applicable to Vehicle Stability Problems, I.Mech.E.Proc.Auto Div. 1953 - 54, No. 6, PP 113 - 133.
- (7) V.E.Gough ; Cornering Characteristics of Tyres, Automobile Engineer, Vol. 44 , No. 4 , Apr. 1954
- (8) J.P.Joy, D.C.Hartley, D.M.Turner ; Tire for High Performance Cars, SAE Trans. Vol. 64 , 1956.
- (9) E.Fiala ; Seitenkräfte am Rollenden Luftreifen, Z.VDI, Bd. 96, Nr. 29, 11 Okt. 1954.
- (10) 光成卓志 ; タイヤの対路面特性の理論的考察, 自動車技術会論文集 No. 4 , 1957, p 1.
- (11) 安武国雄, 藤本邦彦, 市村芳雄, 原田忠彦 ; 乗用車タイヤの操縦性能およびこれにおよぼす諸因子の影響について, 自動車技術, Vol. 15, No. 4, 1961, p 156.
- (12) 光成卓志, 坂下和史 ; 操縦性安定性の立場より見た三輪自動車前後輪の特性, 日本機械学会誌, Vol. 57, No. 428, 1957, p 7.
- (13) 斎藤 安 ; むれたタイヤの特性について, 自動車技術 Vol. 15, No. 6, 1958, p 216.
- (14) 山口 念, 佐波吉男 ; ベルト式タイヤ試験機とそれによる 2, 3 の試験結果, 自動車技術 Vol. 16, No. 11, 1962, p 604.
- (15) 斎藤豊太郎 ; 路上タイヤ試験機およびこれによる二三の測定結果, 日本機械学会誌, Vol. 68, No. 556.
- (16) S.Iritani, T.Baba ; Forces on the Contact Patch of the Tire, 10th FISITA Congress, 1964.
- (17) W.Bergman ; Theoretical Prediction of the Effect of Traction on Cornering Force, SAE Trans. Vol. 69 , 1961 .
- (18) D.L.Nordeen, A.D.Cortese ; Force and Moment Characteristics of Rolling Tires, SAEP - 713 A, Jun. 1963.
- (19) F.Frank ; Grundlagen zur Berechnung Der Seitenführungskennlinien von Reifen, Kautschuk und Gummi, Kunststoffte, Jar. Nr. 8, 1965.
- (20) D.L.Nordeen ; Analysis of Tire Lateral Force and Interpretation of Experimental Tire Data, SAE Trans. Vol. 76, No. 670173.
- (21) 岡田 生, 河野知也 ; タイヤのコーナリング特性に対する駆動力の作用, 自動車技術 Vol. 22, No. 5, 1968, p 410.
- (22) 鷲島健雄, 渡辺 清 ; 駆動力作用時のラジアルタイヤの特性, 自動車技術会関西支部講演会前刷集, 昭和43年10月(1968).
- (23) T.A.Byrdsong ; Investigation of the Effect of Wheel Braking on Side Force Capability of Pnumatic Tire, NASA Re. TN, D - 4602, 1968.
- (24) W.Gegenbach ; Experimentelle Untersuchungs von Reifen aufnasser Fahrbahn, Teil 2: Mesergebnisse, ATZ 70(1968) 8.
- (25) A.Schallamach ; The Load Dependence of Side Force and Self aligning Torque of Pneumatic Tire, RCT, Vol. 43, No. 5, 1970.

索引

〔ア行〕

アスファルトの軟化温度 442
圧縮弾性定数 96
圧雪路面 389
圧力分布 117
アプレジョンパターン 290
アライニングスティフネス 162, 166, 253
アンダーステア (US) 411
アンチスキッドブレーキ 175
アンバランス 301
位相おくれ 236, 242
位相速度 348
イナータンス 319, 331
異方性複合材料 69
イレギュラーピッチ 97, 365, 377
インパルスハンマー 318, 331
ウィークポイント部 128
ウィーブモード 412
ウインドスクリーン 361
Wet Skid 170
ウォブル振動 234
ウォブルモード 412
ABS 443
エネルギー摩耗率 277, 289, 292
FFTアナライザ 320, 358
FFT分析計 304
円環ビームモデル 102
遠心力 408
遠心力効果 343
エントロピー弾性 38
エンベロープ高さ 132
エンベロープ特性 91, 130, 139
応力集中部 128
応力振幅 126
オーバーステア (OS) 411
オーバートーニングモーメント 159
オクターブ 354
音の三要素 353
折りたたみ式応急用タイヤ 399
音圧形状 369
音階 354
音響インテンシティ 359
湿度変化 432

〔カ行〕

カーカス 22, 26, 70, 82, 86
カーカス内部の変形 147
カーカスの周方向のばね定数 140
カーカスの横ばね定数 215
カーボンブラック 39
外観商品性 378
外気温度 153
回転角速度変動 310

回転軸回りのねじり剛性 108
回転ねじり振動 315
外半径 141
化学反応 435
架橋 252
加減音階 354
荷重係数 121
荷重指数 30
荷重と撓みとの関係 139
荷重の変動成分 301
荷重反力 218
加振力計 (インピーダンスヘッド) 321
加速度振動計 319
カラスケール 382
ガラス繊維 59
ガラス繊維コード 62
加硫反応 252
感音反応 365
完全弾性体 144
完全横すべり摩擦係数 163, 225
感応試験 376
機械インピーダンス 319
気柱共鳴 364
気柱の振動 354
基本振動数 313, 419
キャンパー角 294, 305
キャンバースティフネス 405
キャンバースラスト 404
境界条件 330
共振振動数 335
距離角速度 236, 242
距離振動数 407
キングピン軸 307
クローンの摩擦法則 49, 143
駆動スリップ比 162
駆動損失力 157
駆動トルク 160
駆動力 159, 177
クラウン部 78
グリップ特性 377
グルーブ間隔 368
クロスプライタイヤ 21
都速度 348
ケブラー 59, 62
牽引抵抗 160, 177, 215
牽引力 160, 177, 183, 215
絛の横振動 354
高速すべり 223
剛性 103
剛性の測定方法 109
剛体円板 102
剛体リング 103
高調波成分 372, 420

後輪駆動車 176
コード 70
コード角度 21, 74
コードに働く張力 78
コードの長さ 78
コードファブリック 70
コーナリング痕 296
コーナリング試験機 247
コーナリングスティフネス 15.8, 162, 166, 174, 194, 200, 236, 282, 286, 405
コーナリング抵抗 158, 166, 198
コーナリング動特性 234, 407
コーナリング特性 172, 262
コーナリングパワー 125, 162, 170, 253, 413
コーナリングフォース 162, 166, 177, 198, 215, 404
固定座標 339
コンシテイトルク (COT) 303
コンシティブォース (COF) 303
コヒーレント関数 320
ゴム気球 64
ゴム弾性 38
ゴムの軟化温度 442
ゴムの粘弾性 436
ゴムの粘弾性特性 144
ゴムの補強 39
ゴムの摩擦 49
ゴムの厚さ 431
ゴムブロック 97, 179, 184, 219, 221
ゴムブロック形状 181
ゴムブロックの摩擦 392
ゴムブロックの非線形性 54
ゴムブロックの摩擦モデル 184
ゴムブロックの横弾性定数 170
ゴムブロックベース 221
ゴムホース 65, 70
こもり音 305
固有関数 429, 432
固有値 432, 438
固有値問題 429
転がり損失 155
転がり抵抗 127, 143, 437
転がり抵抗モーメント 159
転がり半径 141
コンデンサーマイクロホン 356
コンプライアンス 319

〔サ行〕

サーブ・フリクションテスター 264
最高速度 30
最大荷重 30
最大制動力 267

〈著者略歴〉

酒井秀男 (さかい・ひでお)

昭和7年6月28日～平成24年5月19日 三重県出身

〈学歴〉

昭和32年3月 名古屋大学理学部物理学科卒業

昭和53年3月 工学博士(東京大学)

〈職歴〉

昭和32年4月～昭和44年5月 住友ゴム工業(株)

昭和44年6月～平成2年3月 (財)日本自動車研究所

平成2年4月～平成15年3月 大阪産業大学 短期大学部 教授

昭和45年4月 自動車技術会 学術賞受賞

昭和54年10月 アメリカSAE, The A.T.Collwel Merit Award受賞

平成10年3月 日本機械学会 交通・物流部門 功績賞受賞

復刻版 タイヤ工学——入門から応用まで	
著者	酒井秀男
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