

自動車 安全と技術の歴史





はじめに

現在の自動車の祖先にあたる、人工動力で走る世界最初の移動機械は、試運転で事故を起こし、自動車事故第一号という不名誉な記録を残している。このコラムでは、自動車の「はしる」ということを、この事故の原因を探ることを手始めに、速く走るための努力や、安全で運転しやすくする技術など、さまざまな面に光をあてて、走ることを支配している物理法則に基づいて、わかりやすく説明していきたい。

第二章

- P.4 放射状タイヤ？の出現
- P.6 クルマの操縦性・安定性
- P.8 操縦性・安定性とタイヤの性能
- P.10 自動車の運動と航空機の運動
- P.12 自動車はなぜ真直ぐ走れるのか
- P.14 アンダーステアーと風見安定



放射状タイヤ？の出現

タイヤはゴムホースだった

ゴムホースは、内圧が加わる場合は繊維で補強され、可撓性をもたせるために、その繊維は、手芸で縁どりに使うバイアステープのように、長手方向に対して45度に、互い違いに配置されている。路面追従性が必要な空気入りタイヤにも、ホースと同様の繊維配置が取り入れられたのは当然の成り行きだった。

しかし、“バイアス”タイヤと呼ばれることになる、この構造のタイヤは、コーナリング時に接地面が変形しやすく、接地圧も不均一になり、グリップは完全とは言えなかった(図1)。

タイヤにタガを嵌める

この問題を解決したのは、空気入りタイヤを普及させた、あのミシュラン社だった。ホースの構造から決別して、タイヤ外周に繊維のタガを嵌めるという革新的な構造のタイヤを発売した。

タガを保持する繊維が側面を放射状に延びているので、「放射状」の英語から、“ラジアル”タイヤと名付けられた(図2)。特にタガに鋼線を使った“スチールラジアル”の接地面は変形し難く、接地圧のむらも少なく(図3)、グリップは大幅に改善し、その上、摩耗が少なく寿命が延びて、燃費も良くなった。唯一の欠点は、ゴツゴツした固い乗り心地だったが、サスペンションが改良されて不満は解消し、乗用車ばかりか、バス、トラックにも波及した。

扁平化のエスカレート

このタガ構造の威力が明らかになると、特に乗用車用では、その幅を広くして、さらに性能を高めようと扁平タイヤが出現し、扁平度は年を追ってエスカレートした(図4)。扁平にするとリムの内径が大きくなるので、大きなブレーキの組込が可能となり、サスペンション設計の自由度も増えた。

こうして、タイヤの進化が、ふたたびクルマの高性能を一段と高めることになって現在に至っている。

図1

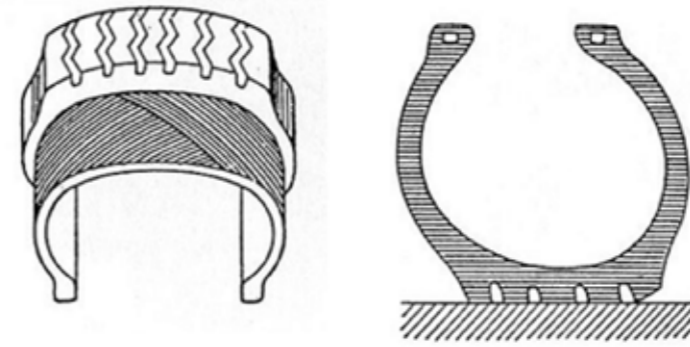


図1：バイアスタイヤの繊維配置とコーナリング時の接地面の状態
接地面は浮き上がり面積は減少する
(出典) 樋口健治「自動車技術史の事典」朝倉書店 302頁(部分・編集)
(出典) <http://www.ryomomaruzen.co.jp/tire07.htm>

図3

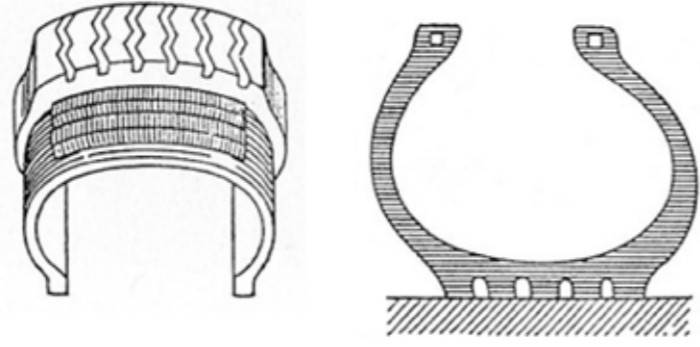


図3：ラジアルタイヤの繊維配置とコーナリング時の接地面の状態
接地面の変化は少ない
(出典) 樋口健治「自動車技術史の事典」朝倉書店 302頁(部分・編集)(出典)
<http://www.ryomomaruzen.co.jp/tire07.htm>

図2

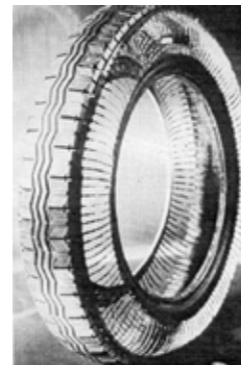


図2：ミシュランのラジアルタイヤのスケルトン写真
ラジアル構造は1913年に特許申請されていたが、ミシュランが1948年に初めて量産した。
(出典) SAE Historical Committee "The Automobile: A Century of Progress" SAE P.48
(出典) <http://www.ryomomaruzen.co.jp/tire07.htm>

図4



図4：コンチネンタル社タイヤの扁平率の変遷
扁平率は断面の高さを幅で割った値で定義される
出典：エリック・エッカーマン著、松本廉平訳「自動車の世界史」グランプリ出版 283ページ(部分)(出典) <http://www.ryomomaruzen.co.jp/tire07.htm>



クルマの操縦性・安定性

乗り心地と耐久性

タイヤの歴史で、初めに改善された性能は、乗り心地と耐久性だった。乗り心地は、空気入りタイヤの出現で画期的に向上したが、後に、太いバルーンタイヤが導入され、空気圧を下げることで、乗り心地はさらに改善された。

ゴムに黒いカーボンブラックを添加することで、強度と耐磨耗性が大幅に向上し、チューブを保護する繊維を織らずに重ねるだけの構造にして、繊維同士の擦れを避けることで、タイヤの寿命は目覚ましく延びた。

操縦性・安定性

タイヤは回転していても、次々に接地部分が路面にグリップするので、継続的に路面に根を張っていると見なすことができる。そのため、タイヤの向いている方向からずれた方向にクルマが進もうとすると、タイヤは、グリップ部分を足懸りにして、タイヤの向いた方向に、クルマを引き寄せようとする力を発生する。

ハンドルを回すと、前輪のタイヤのこの働きで、クルマはその方向に曲ることができる(図1)。クルマの後部が横風や路面の凹凸で横に向きを変えようとする、後輪のタイヤのこの働きで、クルマは即座に直進姿勢に戻される(図2)。

タイヤがこのようにして作るクルマの操縦性・安定性のお蔭で、クルマは自由に進路を変えることができ、安定して直進することができる。

コーナリングパワー

クルマの操縦性・安定性を支配するこのタイヤの働きは、二つの性能から成り立っている。第一の性能は、上述の、タイヤが、クルマをずれた方向から引き戻す力である。この性能は、タイヤの向きとクルマの向きが1度ずれた場合の引き戻す力の数値で表され、「コーナリングパワー」と呼ばれる。これが大きいほど、クルマはハンドルの切れが良く、高速安定性も良い。コーナリングパワーは、スチールラジアルタイヤの出現で飛躍的に、超偏平化でさらに二段と向上した。

図1

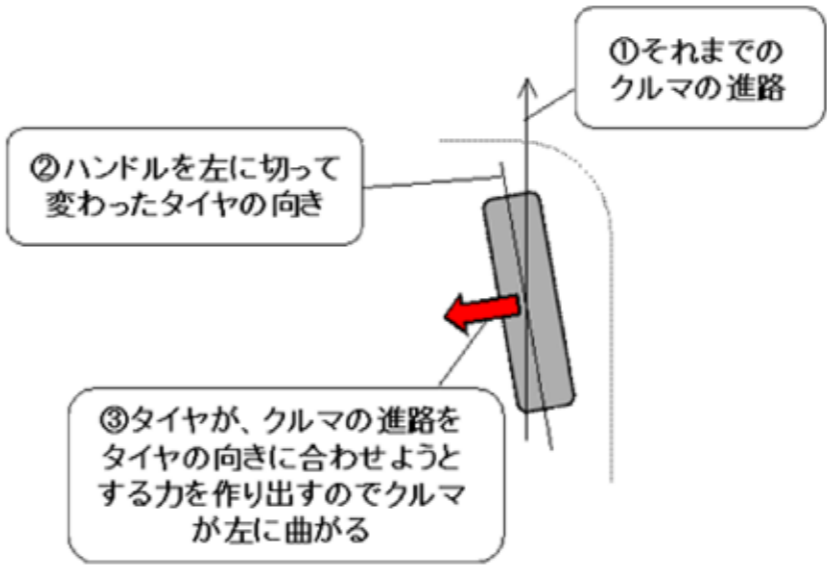


図1：ハンドルを切ってクルマが曲がるプロセス（右前輪の例）

図2

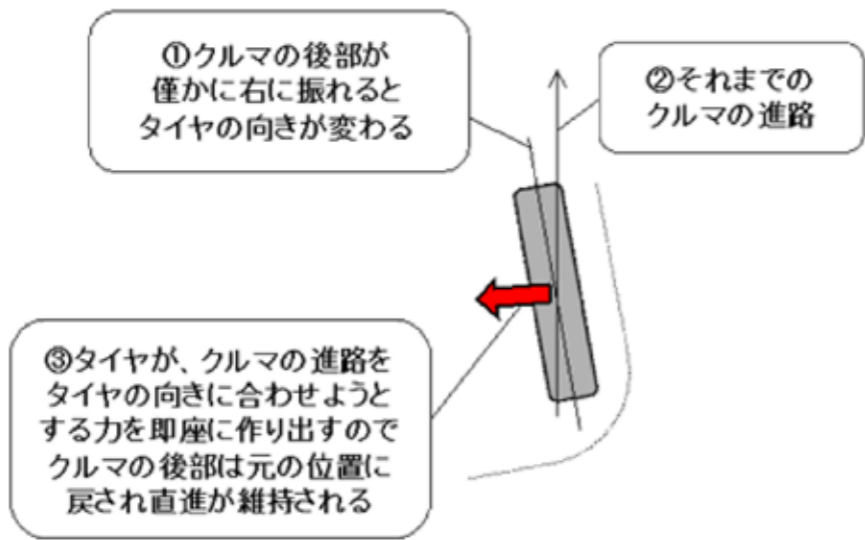


図2：クルマが直進できるメカニズム（右後輪の例）
（向きの変化は、わかり易いように誇張して描いてある）



操縦性・安定性とタイヤの性能

操縦安定性を支配するタイヤの性能

この性能の第一は、タイヤの向きとクルマの進路にずれ(横すべり角)が発生した場合にタイヤがクルマを引き寄せる能力で、1度ずれた時の力の大きさを“コーナリングパワー”と呼ぶ(1-1)。これが大きいほど、クルマはハンドルの切れが良く、高速安定性も良い。性能の第二は、横すべり角が大きくなつていった場合に、タイヤが作る力(コーナリングフォース)の限度を表す“最大コーナリングフォース”である(図1-2)。これが大きいほど、クルマはコーナーを高速で通過でき、ブレーキでの停止距離も短くなる。

荷重の影響

しかし、この二つの性能は一義的には決まらず、タイヤが支える重量(荷重)によって変化する(図2)。コーナリングパワーも最大コーナリングフォースも荷重が増えれば、それにつれて増加するが、増加は比例的ではなく、ある荷重を超えると増加割合は低下する。

したがって、タイヤの性能を把握するには、図のように、基準荷重を中心にその上下の荷重条件で測定した複数のデータを必要とする。

空気圧の影響

さらに、この二つの性能は、空気圧によっても大きく変化する。空気圧を高めると、或る程度までは性能は向上する。しかし、性能の向上は頭打ちになり、それ以上の空気圧では低下する。したがって、タイヤの荷重が決まれば、性能を効果的に発揮できる空気圧が決まるので、自動車会社は、それを参考にして空気圧を指定している。

安全走行のヒント

人は重い荷物を背負うと、うまく歩けなくなる。腹が減つては仕事ができない。タイヤも人と同じである。クルマを安全に走らせようとすれば、タイヤに過剰な負担を強いけないことである。乗用車のトランクに重いものを載せて、後席に大勢乗せると、後輪タイヤの性能が低下して、クルマは走行が不安定になるおそれがある。空気圧の低下もタイヤ性能の劣化を招くので、高速道路の走行前には必ず空気圧を点検したい。

図1

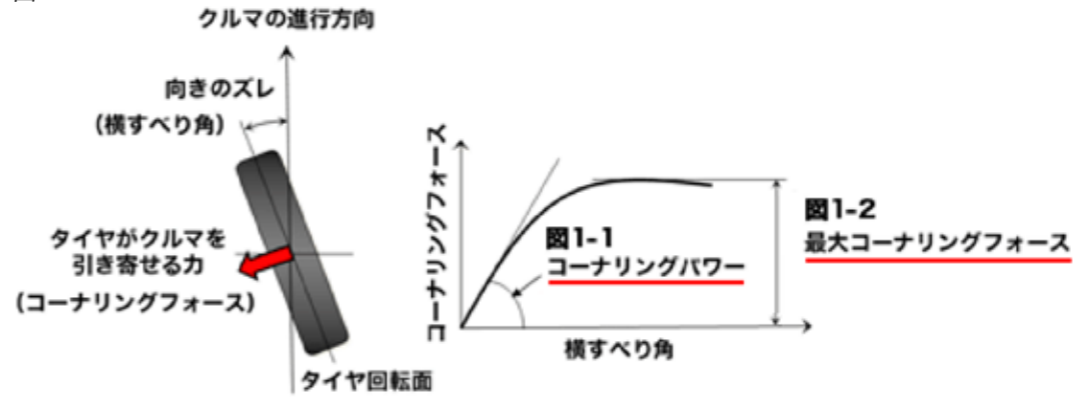


図1：1度の横すべり角で作られるコーナリングフォースで定義されるコーナリングパワーは、性能曲線の立ち上がりの勾配を表す。

図2

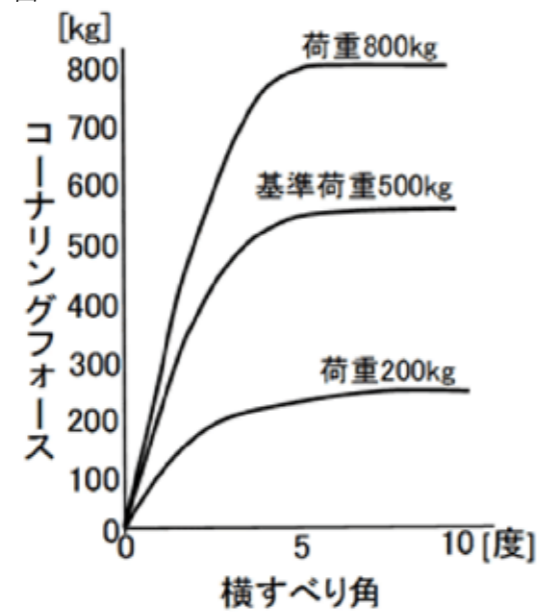


図2：高性能タイヤの性能の一例

タイヤの荷重が基準の500kgから800kgに増えても、カーブの立上り勾配で表されるコーナリングパワーは、荷重が200kgから500kgに増加する時ほど増加していない。

荷重500kgでの最大コーナリングフォースは500kgを大きく超えているが、800kgになるとおよそ800kgにとどまり、最大コーナリングフォースを荷重で割って、摩擦係数として比較すると、約1.1から1.0に低下している。



自動車の運動と航空機の運動

図1

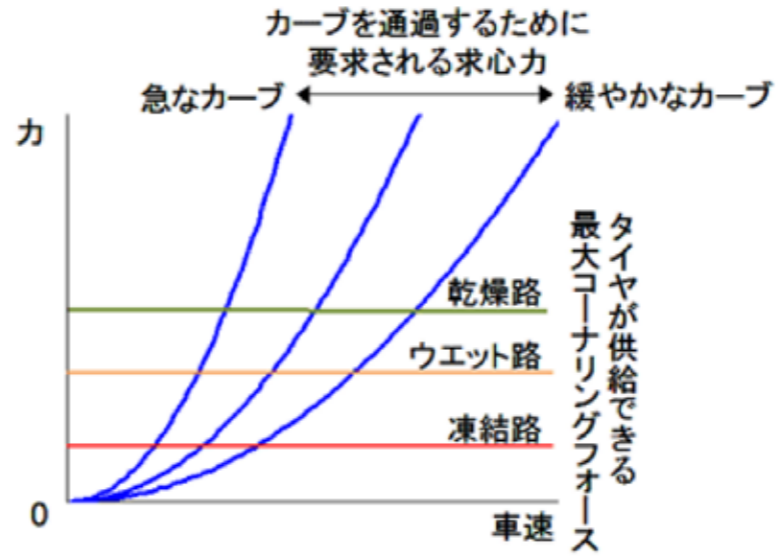


図1：自動車がカーブ通過に要求される力とタイヤが供給できる力
要求される力が、供給できる力を上回る速度ではカーブを安全に通過できず事故が起こる

図2

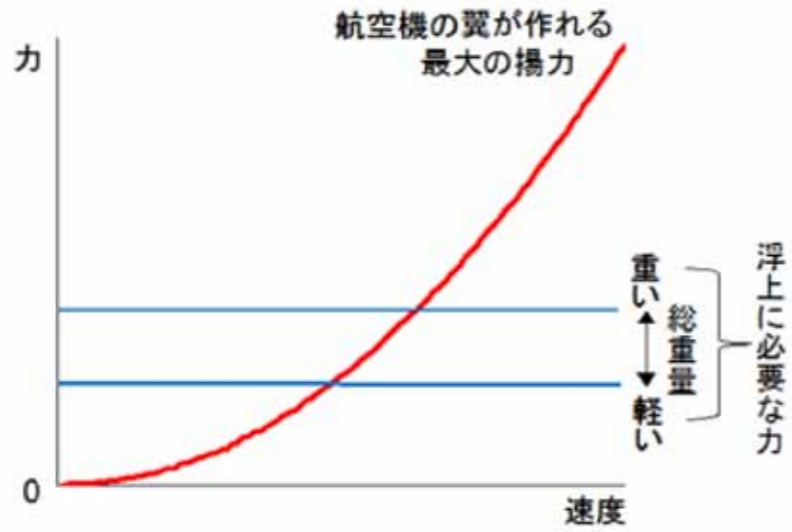


図2：航空機が浮上するために必要な力と翼が作れる力
作れる力が、総重量を上回る速度でないと離陸できない

カーブ通過の条件

自動車がカーブを通過するためには、カーブの中心に向かう求心力が必要である。このための“コーナリングフォース”は、タイヤの摩擦力を基にして作られる。この場合、最大コーナリングフォースが、要求される求心力を上回っていないければ、カーブを通過することはできない。この条件が自動車の運動に制約を与えている。

事故は高速で

必要な求心力は、同じカーブでも、速度の二乗で増加する。カーブが急になると、半径に反比例して増加する。一方、供給側の基となる摩擦力は、速度に無関係で、一定である。しかも、雨で路面が濡れると低下し、路面が凍結すると大幅に減少する(図1)。

クルマは、要求される求心力の曲線と供給側の最大コーナリングフォースの直線が交差する点を超える速い速度では、そのカーブを通過することが不可能になる。自動車が、スピードが速い時や路面が濡れた時に事故を起こすのは、このためである。

航空機の制約

航空機の浮上と運動のための力は、翼が作る空気で供給される。空気力は、摩擦力と異なり、速度の二乗で増加する。そのため、航空機が或る半径で旋回する場合、速度が速くなると要求される求心力が増加しても、供給側の空気力も同じペースで増加する。実際には、翼の強度や乗客の体力から許される速度には限界があるが、理論的には、航空機の旋回速度には、自動車のような制約はない。

事故は低速で

航空機にとっての制約は、速度が低く空気力が小さい領域にある。図は航空機の離陸時の力関係を表したものである(図2)。供給側の空気力が要求側の離陸重量を上回る速度以上でなければ浮上できない。離陸重量が増加するとその速度は高くなる。米国便や欧州便がなかなか離陸しないのは、燃料を多量に積んで重く、その上、高速でないと浮上できないためである。この制約から、航空機は、自動車とは逆に、低速で事故を起こしやすい。



自動車はなぜ真直ぐ走れるのか

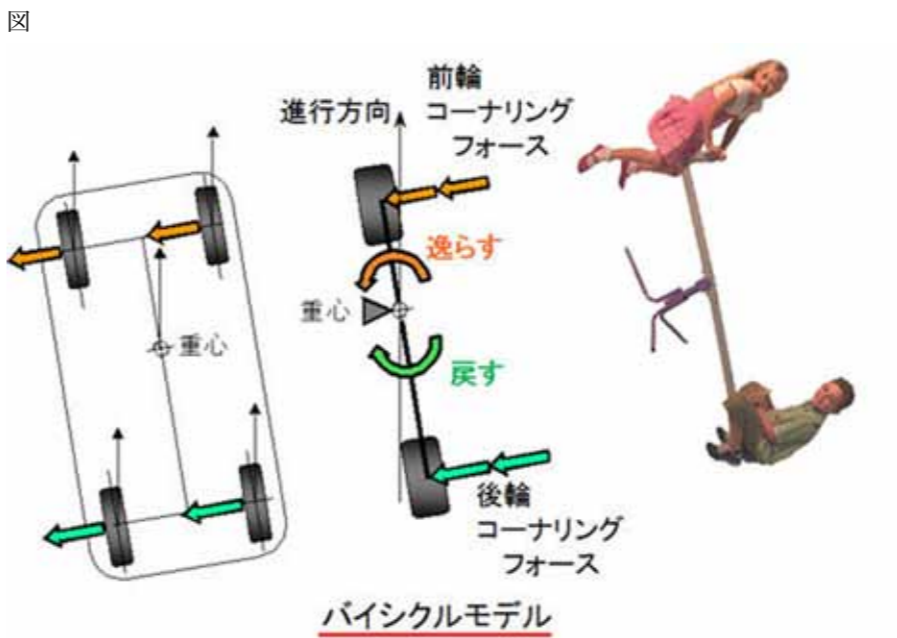
真直ぐ走るのはあたりまえ？

自動車が真直ぐ走るのはあたりまえ、と考えるかもしれないが、それは誤りである。真直ぐ走るためには、ある条件を満たす必要がある。自動車はその条件を満たすように作られているから、高速道路をドライブしていても、おしゃべりをしたり、景色を眺めたりする余裕が生まれる。

しかし、時にはこの条件が満たされなくなることがあり、走行が不安定になって単独事故を起こす。まず、その条件を明らかにしよう。

思考実験

自動車が真直ぐ走れるかどうかは、何かの原因、例えば横風や道路の凹凸でクルマの向きが進行方向から変わった場合、自然に元に戻る作用がクルマに備わっているかどうかを調べればわかる。そのためには、走行中にほんのわずかに向きを変えた状態を検討すればよい。思考実験で、頭の中にそのような状況を再現してみる(図)。



図：直進性の思考実験
思考実験では、進行方向とのズレは僅かであり、図をわかりやすくするため、誇張している
(出典)
http://www.jumpkingovalpodtrampolines.co.uk/product/843/cable_handle_revolving_triceps_curl_bar

自転車モデル

クルマが直進中に向きが変わると、前後のタイヤに横すべり角が発生してコーナリングフォースが作られる。ここで、単純化のため、四輪車を二輪車に置き換えてしまおう。この二輪車は、専門家が自動車の運動を研究する場合にも「バイシクル(自転車)モデル」と呼んで使っている。この時、前後のコーナリングフォースは、クルマを横に動かそうとすると同時に、重心を中心にしてクルマを回転させて向きを変えようとする。問題は、この時の回転方向である。

シーソーゲーム

この状態は、シーソーにたとえるとわかりやすい。後輪の回転力が勝てば、向きの変化は即座に自動修正される。横すべり角は消滅してコーナリングフォースはなくなり、横への移動はほとんど起こらず、自動車は元の直進状態を維持することになる。

前輪が勝てば、向きの変化はますます増大し、タイヤの横すべり角が増えるので、コーナリングフォースが大きくなって、クルマの回転角と横への移動量が急増することになる。



アンダーステアーと風見安定

コーナリングパワーと重心位置

思考実験で、クルマの向きが0.5度だけ変化した場合を考えよう(図1)。すると、前輪と後輪のタイヤに0.5度の横すべり角が発生する。シーソーの乗り手の体重に相当する力は、左右合計で、1本のタイヤが1度の横すべり角で発生するコーナリングフォースと同等なので、定義によりタイヤ性能の指標であるコーナリングパワーそのものになる。しかし、シーソーがどちらに傾くかは、コーナリングパワーの大小だけでは決まらない。自動車の場合、前後のタイヤから重心までの距離が、遊具のように等しくはないので、この距離の違いも考慮する必要がある。

アンダーステアー

傾いたシーソーが元に戻るためには、後輪側の回転力が前輪側より優勢である必要がある。そのため、梃子の原理から、後輪側の「コーナリングパワー」×「重心までの距離」が、前輪側の「コーナリングパワー」×「重心までの距離」より大きければよい。

図1

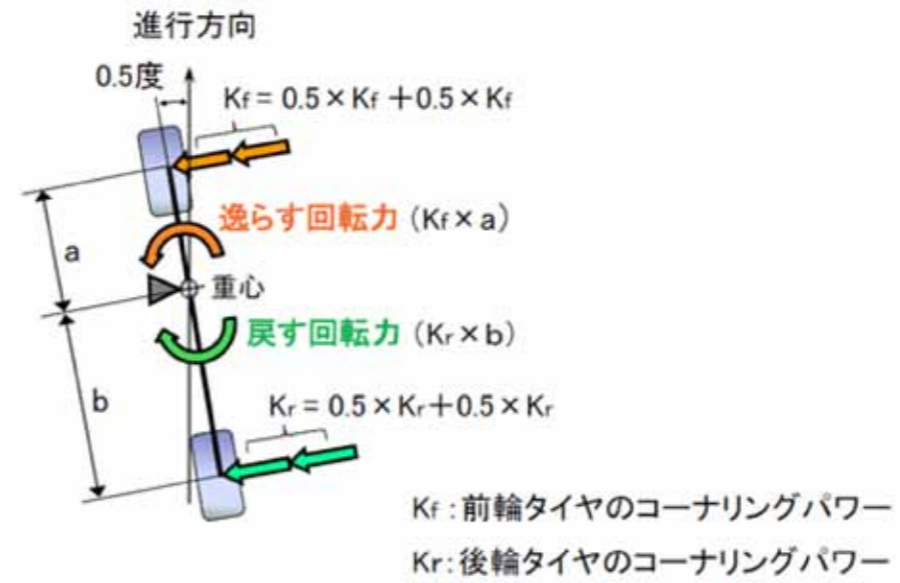


図1：自動車の方向安定性

クルマが安定であるためには $(Kr \times b) > (Kf \times a)$ である必要がある。この状態をアンダーステアーであると言う。この式は角度が入っていないので、方向のずれの量に無関係に成立する。

図2



図2：航空機の垂直尾翼

(出典)

<http://www.boeing.com/commercial/747family/> (部分)

図3



図3：風見鶏

(出典)

http://image.search.yahoo.co.jp/search?p=%E9%A2%A8%E8%A6%8B%E9%B6%8F&fr=top_ga1_sa&ei=UTF-8&xargs=12KPjg15lStoe9mvinN%2DmZDrDaoAtP0cHwsd5sCpN8HKQco2dvVOMLbKuNqvd%2DD705taPhzql%5FIYmfWHNm%2DaUj5ofFCNsdTo2b3CZbo%5Fxp9EYNdMgoIpb3%2Dm7dHIE4PZI%2DCcMT4x7uLP17Kn1N4%5FfsAxQibbdxawru3x%5FfcqTM6WR7ig2HNJhw7KIIsfw%2E&pstart=13&b=1

この条件を満たすクルマは、「アンダーステアー」であると言われ、いかなる速度でも安定した走行が保証される。世の中の自動車は、すべてアンダーステアーに設計され、製造されている。

風見安定

自動車の後輪は、航空機の垂直尾翼にたとえることができる(図2)。垂直尾翼は、航空機にとって安定して飛ぶための重要な機構である。外国でも見かける屋根や塔の頂点にある風見鶏の矢にも、反対側に大きな羽根がついており、それが航空機の尾翼と同じ働きをして、矢を風上に向ける(図3)。

このように、必ず風上を向く性質を「風見安定」と呼んでいる。アンダーステアーの自動車は風見安定を持っているとも言える。垂直尾翼を失ったジャンボジェットは迷走して墜落した。自動車も、高速で後輪のタイヤがパンクすると、事故を起こす可能性が高い。

タカタ財団

TAKATA FOUNDATION

著者：佐野彰一（東京電機大学理工学部 客員教授・自動車技術会 名誉会員）

1937年東京に生まれる。東京大学航空学科を卒業して僅か4年目、26歳の時、突然、F1のボディ設計を命じられる。Hondaは、1964年に始まる第一期F1を、ロータスにエンジンを供給するエンジンサプライヤーとして戦う予定だったが、そのシーズンが始まる1964年1月に、ロータスから“エンジンは他社製を使う。悪しからず”との電報が届き、急遽、自社製シャシーを作らなければならなくなった。

急ごしらえで仕上げたRA271は、重く、整備性も悪かったが、徐々に熟成を進め、翌1965年の最終戦、1,500cc最後のメキシコGPで念願の初勝利を飾った。

その経験を生かし、1967年にはイタリアGPでデビュー優勝を飾るRA300の足周りを設計、さらに1968年には、先進的なアイデアを盛り込んだ空冷のRA302のテクニカルディレクターを務めた。1968年までF1を戦った後は、1300クーペのプロジェクトリーダー、4WSやASV（先進安全自動車）の研究開発を行なう。

Hondaを退社した現在は、東京電機大学で自動車工学の教鞭をとっている。Hondaの第二期F1時代、ウィリアムズにアドバイスして、リヤサスペンションの問題を解決、連勝への足がかりとしたことも。

温和な人柄とは裏腹に、毅然とした自信を持つ生粋のエンジニアである。