

Techno  
Scope

# F1レース—極限の走りへの挑戦

## ハイテクの前衛的実験室



“Formula 1”。各国のトップメーカーも参戦している、世界最高峰の自動車レースである。日本でも、通称“F1”として人気が高く、特に1980年代後半から1990年代前半にかけては、ホンダの黄金時代を背景にしたF1ブームに沸いた。

そんなブームも落ち着いたかに見えたF1が、再び盛り上がりを見せようとしている。世界の名だたるメーカーの参戦ブームに加え、93年以来久しく活動を休止していた、ホンダの再々参戦。来年以降予定されているトヨタの参戦。さらには、ブリヂストン他多くの日本企業の参加・活躍など、日本人のナショナリズムを刺激するトピックスが相次いでいるのだ。

そして近年、人間の勝負という域を超え、世界トップクラスの、ハイテク工学の勝負の舞台と化しているF1の世界。

今号のテクノスコープでは、そんなF1を競技としての面よりも、主として工学技術を中心に、材料の話を織り交ぜながら紹介してみることにする。

### F1て何だろう？

F1が、最高峰の自動車レースといわれているが、愛好する世代は比較的若い。F1に馴染みの薄い向きもあるから、最初にF1なるものの概念について一通り触れておこう。

F1つまりフォーミュラ1とは、カーレース専用車のカテゴリーのひとつである。レーシングカーは一般に、フォーミュラカー、スポーツ・プロトタイプ、ツーリングカーに大別される。レース専用車ではあるが市販車に近いスポーツ・プロトタイプ、市販乗用車をベースとしたツーリングカーに対し、フォーミュラカーは、一人乗りでルーフなし露出タイヤなど最小限の仕様で、レース規定（フォーミュラ）に沿った車の総称として用いられる。徹底的に無駄を省いた完全レース仕様というわけだ。

フォーミュラカーにもランクがあり、国際自動車連盟（FIA）を頂点とした、世界的なピラミッド機構（この内日本では緊急メンテナンスでお馴染みのJAF＝日本自動車連盟が、国内モータースポーツを管掌している）により、各国のフォーミュラに準拠するナショナル・フォーミュラ、F3、FJ（フォーミュラ・ジャパン）といったステップがあり、その頂点にあたるのが

F1なのである。つまり、F1こそ、世界のフォーミュラカーの世界選手権といってもよい。

ところで、カーレースそのものの歴史の始まりは「この世で初めて2台の自動車が出会ったとき」という笑い話があるが、一般的には、1895年にパリーボルドー間で競われたのが世界最初のカーレースといわれることが多い。実用自動車が生れてから10年そこそこのことである。

その後、1905年にフランスで初めてグランプリの名を冠したレースが行われたのを皮切りに各国でグランプリ・レースが開催されるにつれて、使用する車や競技に関する規則が整備され、やがて専用のレーシングカーによる競技が確立された。

そして1948年に至って、国際自動車連盟がF1というカテゴリーを設け、1950年からこれに準拠して世界最高速度の人と車を決定するF1グランプリが始まったのである。

F1のレギュレーション（規定）は発足以来幾度もの変遷を経て、現在表1のようになっており、この一定の条件のもとでドライバーとマシンが最高の技術を競い合うのである（F1の世界では車といわずにマシンという。F1カーが車の概念を超えた機械であるからだろう）。

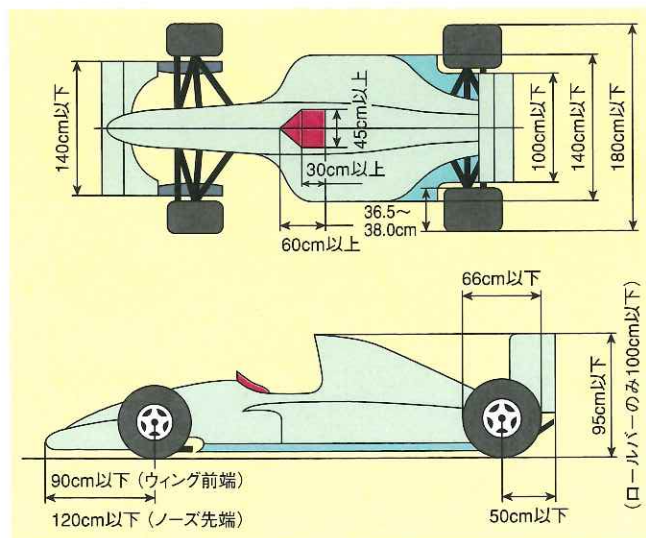


図1 F1マシンの寸法規定

表1 F1マシンの主な規定

| エンジン |                               |
|------|-------------------------------|
| 排気量  | MAX3000cc                     |
| 気筒数  | MAX12                         |
| 形式   | 4サイクル・レシプロエンジン シリンダ・ピストンの断面は円 |
| ボディ  |                               |
| 質量   | MIN600kg                      |
| 形式   | 4輪、接地し完全に露出していること             |
| 空力   | 空力に影響を及ぼす部品はばね上部分に固定のこと       |

現在のF1は、1戦およそ300kmのレースを年間17戦行い、その合計得点（1戦当たり1位10点、2位6点、3位4点…、6位1点、以下無得点）で争われ、ドライバーチャンピオンとコンストラクター（製造者＝チーム）チャンピオンのそれぞれが決まるようになっている。

### 勝てるF1マシンの条件

近年のF1では、どんなに優秀なドライバーでも、マシンに恵まれなければレースには勝てないというほど、F1マシンに求められる条件は年々シビアになっている。そこで、本稿のテーマでもある素材の話に入る前に、勝てるF1マシンの条件について触れておかなければならない。F1における素材の変遷は、時代ごとに勝てるマシン造りを追求した成果の歴史といえるからである。

さて、その勝てるマシンの条件を端的にいうと、

- ①速さ（最高速度・加速性能・コーナリング、速度・制動力を総じてこういう。）
- ②信頼性（1レース約300kmを走りぬく耐久性）
- ③燃費
- ④安全性

この4つを高次元で兼ね備えることである。（③の燃費は94年のレギュレーションからレース途中の給油がOKになったので、多少重要度を落としたが）。そしてそれは、シャシー性能とエンジン性能の高次元なマッチングにより、はじめて実現可能なのである（タイヤ性能は、現在ブリヂストン1社供給とい

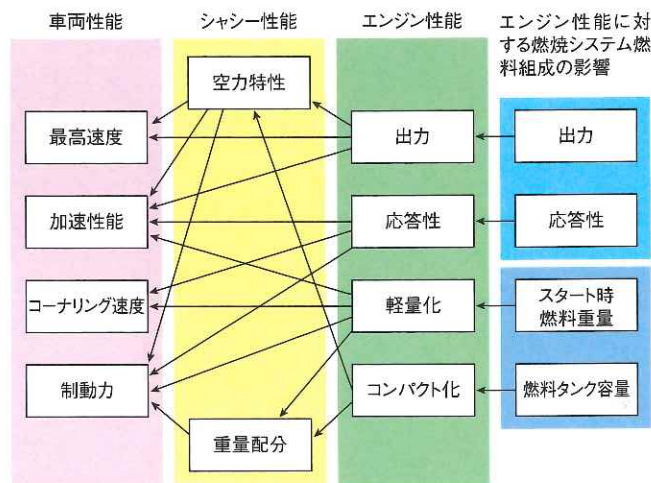


図2 エンジン性能と車両性能との相関図

出典：日本のレーシングエンジン（グランプリ出版）

うこともあり、今号では割愛する）。

### “速さ”の科学

それでは、F1マシンの第1の条件である、“速さ”について多少科学的に考察してみることにする。F1における“速さ”とは、図2のように、それぞれの性能が密接に関連して為し得るトータルな車両性能のことであり、この“速さ”はまた、最高速度・加速度・コーナリング速度の3つに分けることができる。

まず、マシンの直線速度はマシンを前進させる駆動力と、空気や摩擦などこれを妨げる走行抵抗という2つの力のバランスで決まる。したがって最高速度は駆動力が大きいほど、そして走行抵抗が小さいほどアップする。駆動力の大きさを決定するのは、専らエンジン出力、力の伝導効率等のさまざまな要素の複合パワーであり、車体質量は基本的にはこれには関係しない。また、走行抵抗は①転がり抵抗②空気抵抗③勾配抵抗④加速抵抗から成るが、①②は車体質量にはあまりかわりがなく、③④は質量が軽いほどよい。これに対し加速度には車体質量が大きく影響する。有名な「ニュートンの運動の法則」の第2法則により、「質点の加速度は外力に比例し、質量に反比例する」のである。これは、たとえばマシン質量が2分の1になれば加速度は倍になる、ということの意味する。

一方、コーナリング速度は、直線速度以上に大切といえる。実戦においては直線部はわずかで、ほとんどがカーブといってよい。コーナリングには、前後方向に加え横方向に働く力、つまり遠心力と、これに抗するコーナリングフォース（主としてタイヤを通した車体の接地力）が大きく影響するので、状況は複雑である。

一般に、遠心力は運動する質点の質量と回転速度と回転半径の3つの要素で決まる。

コーナリングの際の諸要素をこれに当てはめると、質量は車体質量、回転速度はコーナリング速度に相当する。そこでこの4つの要素の間の関係を文字式で表すと次のようになる。

$$\text{遠心力} = F \quad \text{質量(車体質量)} = M$$

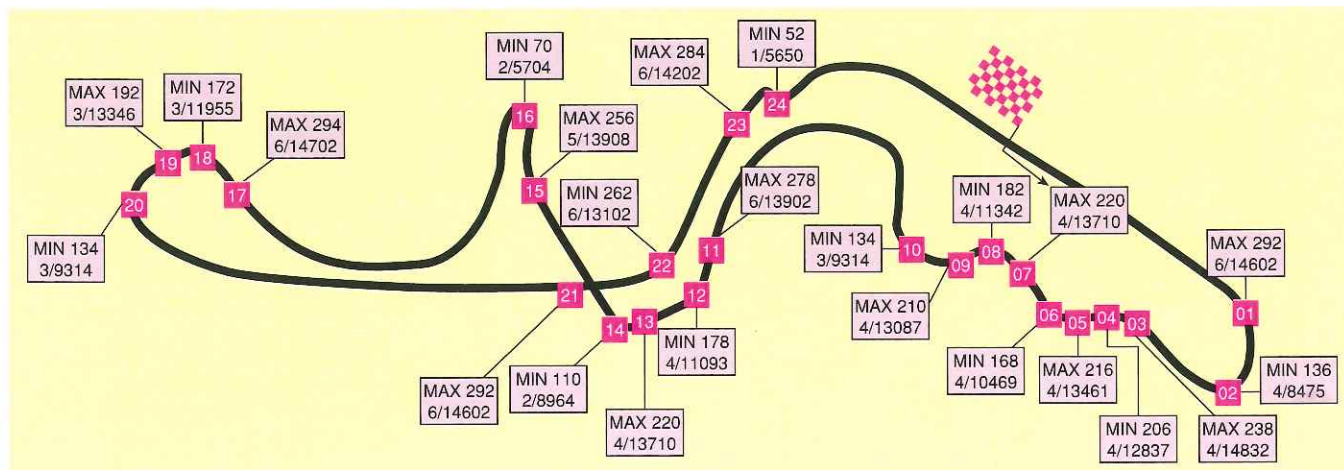
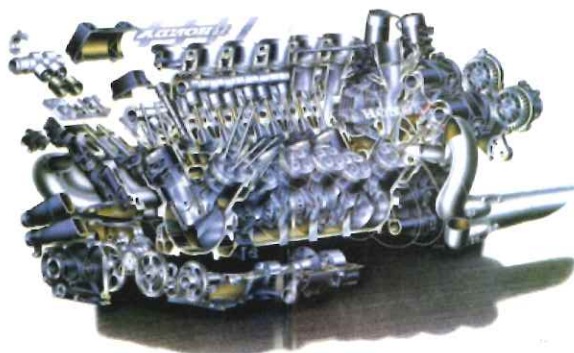


図3 92年日本GP時の鈴鹿サーキットにおける各コーナーの车速 (km/h) 及びギヤ/エンジン回転数 (rpm)

出典：日本のレーシングエンジン (グランプリ出版)



V12 エンジン。排気量は3496cc。

回転速度(コーナリング速度) =  $V$  回転半径 =  $R$   
として、

$$F = M \times V^2 / R$$

この式を速度について整理すると、

$$V = \sqrt{R} \times \sqrt{F} / \sqrt{M}$$

となる。ここで、もし、コーナリング・フォースの総和が遠心力  $F$  と釣り合っていなければマシンはコースから外側に飛び出してしまふから、 $F$  はコーナリング・フォースの総和に等しいと考えよう。

以上の前提で、この式は、速度は回転半径の平方根およびコーナリング・フォースの総和の平方根に比例し、車体質量の平方根に反比例するということを意味する。つまりある曲率のカーブを曲がるときにコーナー速度を上げるには、コーナリング・フォースは大きいほど、車体質量は軽いほどよいことになる。

このうち軽量化については、F1の場合レギュレーションでドライバーを含めた車体総質量の下限が規定されているので、その下限数値が車体開発の前提条件になる。またコーナリング・フォースとは、一口に言えば、タイヤを通した車体の接地力、いわゆるグリップの強さである。接地力はタイヤ自体のグリップ性能と、ウイング等で下方向に車体を押し付ける力(ダウンフォース)により決まる。ダウンフォースは、車体の空気抵抗をはじめとするいわゆる“空力”の範疇であるが、“空力”について、近々本誌でとりあげる予定なので解説の機会をその時に譲ることとする。

## 素材選択の前提

図3を見てももらいたい。これは92年のF1日本グランプリ(鈴鹿サーキット)における、マクラーレン・ホンダ車(アイルトン・セナ運転)のコーナーごとの车速及びギヤ、エンジン回転数を表したものである。この図からもF1マシンがいかに過酷な戦いに臨んでいるかが伺える。

この時のレースでは、最高速度が約300km/h、平均時速でも約150km/hである。各直線とコーナーでは、毎度急加速・急ブレーキが繰り返され、エンジン回転はMAX15000 (rpm)、平均でも12000以上という数値になる。そんな状態のまま、約2時間、距離にして約300kmのレースを戦うわけである。

それでは、いよいよF1における材料の位置づけに触れたい。このような超過酷な使用条件に耐えるF1の素材選択は、一般車とは異なる観点から行われる。

その特徴のひとつは、量産を前提にしないことである。F1では一台一台がオリジナルマシンであるため、素材選択の上で生産効率や歩留まりを考慮する必要はない。

次に信頼性についてである。F1ではレースに必要な走行距離をあらかじめ計算に入れた設計がなされる。レース距離約300km、これに加えてウォームアップ走行等のプラスαの400～500kmの寿命が設計最短目標となる。つまり一般車や耐久レースのように、長期にわたる耐久性は必要とされない。しかし、レース間に各部位にかかる負荷は、異常な数値になるので、各部位の故障が、ドライバーの死に直結しかねない、F1マシンに使われる素材の信頼性は、当然高くなくてはならない。よって、強度・剛性・耐熱性等が格段に高い材質が選択される。

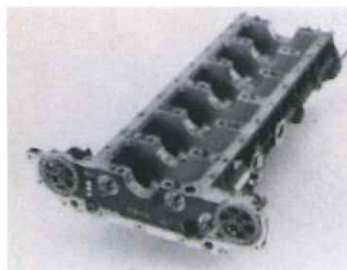
そして、上記二つの前提を満たした上で、なおかつ重要になるのが軽さである。先に述べたようにF1では、レギュレーションで車体の総質量での軽量化は制限されている。しかし代わって質量配分が非常に重要な要素となる。1つのコーナーで、コンマ数秒の差異を競うF1では、車両の質量配分のごく僅かな違いが、実際のレースでは、圧倒的なマシン性能の優劣に

表2 マシンを構成する主な材料とその物性値の例

|                            | 鋼 SNCM <sup>1)</sup>                                                   | Al合金 7075T6 <sup>2)</sup>                                              | Mg合金 AZ91 <sup>3)</sup>                               | Ti合金 (Ti-6Al-4V)               | CFRP カーボネポキシ・UD                                     |
|----------------------------|------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 比重                         | 7.8                                                                    | 2.7                                                                    | 1.8                                                   | 4.5                            | 1.6                                                 |
| 引張り強度 (N/mm <sup>2</sup> ) | 1,373                                                                  | 549                                                                    | 294                                                   | 1,079                          | 1,569                                               |
| ヤング率 (N/mm <sup>2</sup> )  | 205,926                                                                | 68,614                                                                 | 44,109                                                | 107,822                        | 107,822                                             |
| 比強度 (×10mm <sup>3</sup> )  | 18                                                                     | 21                                                                     | 17                                                    | 24                             | 100                                                 |
| 比弾性率 (×10mm <sup>3</sup> ) | 27                                                                     | 26                                                                     | 25                                                    | 25                             | 70                                                  |
| 使用箇所                       | クランクシャフト<br>ギアボックスシャフト<br>ギア類<br>ドライブシャフト<br>サスペンション・アーム<br>ステアリングシャフト | シリンダーブロック<br>シリンダーヘッド<br>ピストン<br>ラジエーター<br>ブレーキ・キャリパー<br>エンジンマウントブラケット | ギアボックス・ハウジング<br>カムカバー<br>各部のカバー類<br>ホイール<br>吸気マニフォールド | コンロッド<br>サスペンションのスプリング<br>ボルト類 | モノコックフレーム<br>ボディカウル<br>前後のウィング<br>アンダーカバー<br>各部のダクト |

1) Ni-Cr-Mo鋼 (JIS)、2) Al-Cu-Mg合金で厚さ2.9mm超6mm未満 (JIS)、3) Mg-Al-Zn合金 (ASTM)

出典：F1の科学 (講談社)



ロウアークランクケース。

なってしまうのだ。そこで、設計の自由度という観点で各部位の軽量化・コンパクト化が必須なのである。マシン自体を基本的にできるだけ軽く造れば、例えば、後でバラスト（重り）を加えて理想的質量配分にするなど、いくらでも調整できるというわけだ。とはいえ、ドライバーにはある程度の居住性を確保してやらないと、5Gともいわれる加減速・遠心力のGに晒されながらのレースでは、体力的に問題になる。つまり、ボディフレームのコンパクト化は、すでに限界に近い。そこで、それ以外の部位で軽量・コンパクト化のメリットを生み出す努力がなされる。その最たるものがエンジンで、車両総質量の5分の1以上、かたまりとしてはドライバーにつく面積を占めるエンジンの軽量・コンパクト化が、より効果的なメリットを引き出す最善の改良策といえるのである。（参考までに、ヤマハ製1995年のエンジン質量の公表値が125kg以下なのに、翌96年の同社ニューエンジンでは、同排気量・同気筒ながら質量105kg以下を達成している。）

以上のことをまとめると、F1における素材選択は、より高い強度・剛性を持ち、軽量・コンパクト化に貢献できるものであるかどうかを基準に行われるといえるのである。

### 素材最前線

それでは、F1で使用される主な5種類の材料を採り上げて解説することにする。表2に一応の分類を示したが、状況は日進月歩であり、すでに変化しつつある部位もある。本編では、現状で解る限りの素材の最前線をまとめてみることにする。

まず第1にあげられるのは鉄系材料である。過去と比較すれば使用部位は狭くなってきているものの、依然として鉄が採用される部分も多く存在する。現在使用されている鉄の部材は、熱処理の進歩により鉄の比強度（質量当たりの強度）が目覚しく向上したため、すべて最高強度の高張力鋼に切り替わっている。非常に大きな爆発力がかかるクランクシャフトには、

### C O L U M N

#### カーレース、F1における日本メーカーの活躍

自動車の技術では世界をリードする日本は、カーレースにおいても大手メーカーのほとんどが世界の各種のレースですばらしい実績を上げている。例えばラリーにおける世界の最高峰、WRCラリーカーでは1993年94年をトヨタがマニファクチャラーズ・チャンピオンとして連覇して以来、95～97年はスバルの3連覇、98年三菱、そして昨99年は再びトヨタと、最近7年間というものの日本のメーカーがチャンピオンを独占している。また、過酷さで定評のあるサファリラリーでは日産の車が常に赫赫たる戦果を上げて令名を馳せているし、マツダは耐久レースの最高峰ルマンで、91年に日本車初Vを達成している。

しかしF1となればやはりホンダである。1964年から始まり68年まで続いたホンダの第1次F1グランプリへの参戦と、15年の長い休眠後1983年末から始まった第2次参戦を通じてのホンダエンジンの優勝回数は71回を数え、勝率16.6%と断然トップである。

87年には日本人最初のF1ドライバー中嶋悟がホンダエンジンのチーム（ロータス）から生れ、1988年には、ホンダエンジンのチーム（マクラーレン）は、16戦中15勝（ドライバー＝A・セナ/A・プロスト）という破天候の活躍で、「無敵のホンダ」の神話を生んだ。（ちなみに日本でも大変人気のあった不世出の天才A・セナは94年にレース中の事故で死亡している）

その後（94年より）しばらく経済環境の変化でホンダはF1から撤退するが、新ミレニアム2000年を期して、ホンダの第3次F1グランプリへの参戦がスタートする。F1ファンにはまことに楽しみなことである。

高い強度・剛性が必要とされるのに加えて、回転のバランスも要求される。この要求を満たすため、F1では、合金製の鍛造品から機械加工・熱処理を行い一体品として成形する方法を採用している。ドライブシャフトなど一部チタン化の傾向を見せてはいるものの、シャフト類は現在でも鋼が使用される場合が圧倒的に多い。

鋼についてF1に使用されてきた歴史が長いのはアルミニウム合金である。アルミハニカムモノコックなど、フレームを中心に採用されていたアルミ合金は、最近の徹底した軽量化傾向から、使用範囲はより広範なものとなっている。フレームの後半部分に位置するシリンダーブロックでは、高い強度・剛性を持つ鋳鉄の採用を見送り、アルミ合金の鋳造品を使用するのが、現在一般的である。また従来、焼き付きが問題とされたライナー部分にも溶射法の改良等により、アルミ合金が使用されるようになった。F1用に使用されている7075は、アルミ合金の

中でも、強度最高のものの1つだが、部位によっては耐熱性、溶接性、切削性などに特長のある2000系なども使われている。軽量化の枠の中でも強度、剛性、靱性、熱性能など多様な要素のどれを重視するかで選択が変わってくることの一例である。

近年、このアルミニウム合金と競合しはじめたのが、マグネシウム合金である。マグネシウムは耐クリープ性が難点で、当初はオイルパンやヘッドカバーなど熱があまり影響しない部分に採用されていたが、現在ではこれが克服され、ギアボックスからピストンなどにも使われるようになってきている。ホンダが1992年に使用したRA122EBエンジンでは、従来のアルミ合金に変えて、マグネシウム合金製のロウアー・クランク・ケースを採用し、約3kgの軽量化に成功した。最近の傾向としてF1で使用されるマグネシウム合金は、米国のASTM規格のAZ91から、RZ5へ、さらにWE53、43、QE22(メル〔Magnesium Elektron社〕商標)といったところへ主流が移っている。

同じ軽金属の中でも、チタンはまだ使用部位が狭い。強度面では上記の軽金属を上回るチタンだが、コスト面では非常に割高である。量産車よりもコスト面で自由が効くF1においても、チーム全体の予算には制限がある。そのため、採用されるのはボルトなど限られた部位にとどまっている。鉄系合金の強度と安価性を考えると代替品として用いるにはまだ時期が早いようである。またドライブシャフトをニッケル・モリブデン鋼からチタンに変更する例も見られるが、主流となるには至っていない。最近では、Ti-6Al-4V系に限らず、6Al-2V、4Al-2V、5Al-3Vといった材質も採用される傾向がある。

主だった金属材料の使用状況については以上の通りだが、CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic: 炭素繊維強化プラスチック)など非金属系材料の動向も見逃せない。アルミ合金が使われていたフレーム部分は、1980年代以降、CFRP製モノコックに取って代わられた。当時、アルミハニカムモノコックのねじり剛性は高いもので800~900kgm/degのレベルだったが、CFRPはすでに1650kgm/degを記録していた。また単体質量もアルミ合金製と比べて20%ほど軽かった。現在では、約3000kgm/degまで剛性を高め、より広範な使用が可能となっている。

このようにF1では最先端の素材が、次々と導入され続けている。各チームも素材開発に相当注力しており、日夜、新しい素材を求めて研究を続けているという。しかし、設備・技術の問題からチームが単独で素材開発を行うことは少なく、各素材メーカーの協力を仰ぐことが多い。参加企業は公表されていないが、日本国内でも、大手鉄鋼メーカーをはじめ数社が開発に参加していると言われている。

## 新たな時代に向けて

鉄系材料・アルミ合金の改良などからスタートしたF1の素

材開発も、チタンやCFRPなど航空・宇宙材料を応用するまでに至った。

F1に限らず一般に自動車レースには、一般車への技術導入を先取りしたテストの場という側面がある。DOHC(Double Over Head Camshaft: 二つのカムシャフトがシリンダー上部に位置するバルブシステム)エンジン、ディスク・ブレーキなどレーシング・カーに始まり一般車に標準装備されるようになった技術は枚挙に暇ない。レーシング・カーの最高峰であるF1に至っては前衛的といってよいような最先端の実験の場であったのはいうまでもない。

しかし、表1を見ると、エンジン形式が限定されていて、ターボ・エンジンなどが禁止になっているのが目につく。自動車メーカーのF1グランプリへの参入はターボ・エンジンの提供をきっかけに始まったのだが、現在ではむしろこうしたハイテクを制限する傾向が強くなっている。ハイテクの採用が進むと、相対的にドライバーの技量のウエイトが下がり、機械の優劣だけがものをいい、もはや人間が競うスポーツではなくなってしまうというのである。

そうすると、F1は先進技術競争の場として自動車工学をリードするという、かつて果たしてきた大きな役割を自ら放棄することになる。ひいては、カーレースの最高峰としての位置付けさえ危うくなってくる。今やF1の世界と市販車の世界とは全くの別物といわれることさえある。実はこのあたりがF1関係者の大いなるジレンマとなっているのであり、20世紀最新最大のエンターテインメントと称されるF1も、ここに来てひとつの転機に差し掛かっている見方もある。

しかし、取材過程で出会ったある技術者はこう反論している。

「F1の技術が市販車にフィードバックされなくなったというのは、直接的・表面的なフィードバックのはなしです。実際にはF1で培った製造手法や工程関連技術が、市販車のそれにかなり応用されています。でもその部分は各社企業秘密でしょうから、表にでてこないのですよ。」

今年、日本からF1の王者ホンダが再参入し、来年以降トヨタも加わって、F1グランプリは新たな時代を迎える。過去に日本の自動車産業は、オイルショック・公害問題による排ガス規制など、さまざまな難局をその高い技術力で打ち破った歴史がある。その経験がF1の転機においていかに生かされるのか。2000年を機に新たなマシン作りを通じて、材料開発の面でも大いなる活性化への期待がふくらむ。

## 参考文献

- F1の科学(検垣和夫、講談社)
- F1 BOOK グランプリの透視図(赤井邦彦、CBSソニー出版)
- 日本のレーシングエンジン(GP企画センター、グランプリ出版)
- F1エンジンの技術(オートテクノ編集部編、ビジネス・アスキー)
- 新素材が車を変える(日産自動車中央研究所、材料研究所編、工業調査会)

[取材協力・写真提供: 本田技研工業株式会社、ヤマハ発動機株式会社]