

## レーシングカーのデザイン

草加浩平\*

レーシングカーは速度を競う車だけに、その安全性に対する要求も厳しいものがある。自動車技術会の主催する「全日本学生フォーミュラ大会」参加車両とフォーミュラ・ワンの車両を比較し、その安全性に対する配慮につき、デザインの視点も加えて報告する。主に転倒対策、前方衝突対策、側面衝突対策の視点から比較を行い、これらの車両の安全装備の違いが主に想定する速度域とコース設定及び走行条件の違いによるものであること、これによりデザイン面の違いがもたらされることを紹介する。

### Safety Design for Formula Racing Cars

Kohei KUSAKA\*

Safety requirements for racing cars are strict since they are built to compete on how fast they can go. This report makes a comparison of vehicles taking part in 'Student Formula SAE Competition of Japan' organized by the Society of Automotive Engineers of Japan (JSAE) with Formula 1 vehicles, in terms of safety and design aspects. The report mainly compares anti-roll measures in addition to head-on and side collision features. The differences in safety fittings are largely due to disparities in estimated speed range, course settings and race conditions. This also leads to differences in designs.

#### 1. レーシングカーの種類

レーシングカーと一口に言っても、そのジャンルは多岐にわたる。純粋にレースの世界に絞ったとしても世界自動車連盟(FIA)の統括するレースの最高峰であるフォーミュラ・ワン(F1)から、一般市販車を改造したツーリングカー、子どもたちの競うカートまで、いくつものカテゴリーが存在する。レーシングカーの定義を、モータースポーツに使用する車ということにすると、その種類はさらに増すことになる。

ここでは筆者の30年余りに及ぶラリーでのナビゲーター(コ・ドライバー)としての体験を踏まえ、小

松製作所におけるF1チームロータス及びウィリアムズグランプリに対するテクニカルサポートや、東京大学における「全日本学生フォーミュラ大会」参加車両の製作を通じた経験から、レーシングカーとその安全につき、デザインの観点を交えて報告する。

#### 2. レーシングカーと安全

速く走り勝つための車、それがレーシングカーである。勝負の世界に犠牲はつきものというものの、モータースポーツの世界ではかなり安全に配慮した車作りが行われている。

昔からレースの世界に事故はつきものであった。1955年のルマン24時間レースにおいて、ホームストレッチでジャガーとの接触を避けようとしたオースチン・ヒーレーと絡み合ったメルセデス・ベンツ300SLRのレースカーが観客席に飛び込み、ドライバー及び観客81人の死者を出す大惨事を引き起こし

\* 東京大学大学院工学系研究科産業機械工学専攻助教授  
Associate Professor, Dept. of Engineering Synthesis,  
School of Engineering, The University of Tokyo  
原稿受理 2004年3月22日

たことは、その後ベンツが長くレースの世界から離れるきっかけになった。F1の世界でも10年程前には、日本でも有名なアイルトン・セナがサンマリノグランプリでコースアウトして死亡したのをはじめ、F1界で死亡事故が続いた。

早速安全基準が強化されるとともに、レースカーの速度を落とすような基準も作られた。

このように観客だけでなく、ドライバーあるいはクルーの事故に対する危険を減らす努力は、F1に限らずすべてのモータースポーツで取り組まれている。

レーシングカーの安全装備というと、まず目に付くのがロールバーである。転倒時などにおいて、乗員の生存空間を確保するために運転席後部に立てられた鋼管のフープ状のものである。しかし市販車ベースのレーシングカーでは、最近はこのをさらに進めて、ロールケージと呼ばれる、ちょうど鳥かごのような構造物にしている。転倒時などにAピラーがつぶれて乗員が死傷する事故を防止するための改良である。筆者もモータースポーツにかかわって30年ほどの間に、何度かロールバー及びロールケージのお世話になり、事故の影響を軽微にとどめることができた。

またもう一つの目立つ装備として、一般市販車と同様、シートベルトの果たす役割は大きい。一般市販車では2点あるいは3点式シートベルトの装着が一般的だが、レーシングカーでは少なくとも4点式、場合によっては5点式あるいは6点式のシートベルトを装着している。これも筆者は大変お世話になっている装備品である。わずかに20~30km/h程度の車速で山肌などに激突したとしても、4点式シートベルトを装着していれば、肩にシートベルトのあざが残る程度ですむ。3点式シートベルトよりは確実に体を支えてくれ、力も分散される。さらにこれが5点式、6点式となれば、走行中の振動などによりラップベルト(腰にかけるベルト)がずれ上がってしまうこともないので、万一のときにラップベルトが内臓を圧迫することによる最悪の事態からも乗員を保護してくれる。

2003年10月に世界ラリー選手権のラリードフランス・ツールドコルスにおいて、約60km/hの速度で一抱えほどある大木に左フロントから衝突した際には、FIAの規格で作られた最新式のロールケージが確実にコックピットの変形を阻止してくれた。さらに5点式のシートベルトをしっかり締めていたにも

かわからず、ヘルメットをロールケージに強打することになったが、これはシートベルトが筆者の体を単に拘束するだけでなく、徐々に伸びることで衝撃を吸収してくれた代償であった。

これらの安全装備に加え、最近では乗員への衝撃入力を少しでも減らすために、車体構造的に工夫が凝らされるようになってきている。すなわちクラッシュブルゾーンの装備である。これは通常の乗用車の設計でも考えられていることであるが、衝突時にわざと壊れる部分を作っておくことで、衝突のエネルギーを少しでも吸収し、乗員に加わる衝撃を少しでも緩和しようというものである。

### 3. レーシングカーの求めるもの

勝つためのマシン作り。これこそがレーシングカー作りで求められているものである。時にそのユニークな構造(6輪のF1など)やスタイル(1991年に登場したハイノーズのF1など)で人目を引くレーシングカーが存在するが、それらも決して人目を引くだけのためにそんなことをしているわけではない。必ず速く走るために理由があるのである(例えば、6輪は前面投影面積の縮小による空気抵抗減少のため、またハイノーズはアンダーボディへの流入空気増大によるダウンフォースの向上のため、など)。

しかし速く走るということが、一つのことを意味していないということにも注意を払うべきである。F1レースを走るフォーミュラカーと、ルマンを走るスポーツカーが、その形態を異にしているのはもちろん規格によるところであるが、それだけでない面もある。どちらかといえばテクニカルなコースを走るF1と、高速コースであるルマンを走る車では、速く走るときに要求される内容に関して多少々異なってくるのである。テクニカルなコースを速く走らせようとするれば、できるだけ車体を路面に押しつけてタイヤの発生するコーナリングフォースを確保し、コーナリングスピードを高めることが重要な要素となってくる。当然最高速度は高速コースに比較して低くなるため、空気抵抗の影響も小さくなる。つまり空気抵抗を小さくするより、空力的なダウンフォースを大きくすることのほうに重点を置くデザインになるわけである。これに対してストレートの長い最高速度での走行時間の長いコースでは、当然のように最高速度を高くすることに力が注がれることになり、いかに空気抵抗を小さくするか、すなわち前面投影面積を小さく、空気抵抗係数を小さくす

ることに重点を置いたデザインが求められることになる。

#### 4. 勝つためのデザイン

レーシングカーは速く走ってこそ意味ある車であるから、その作りはすべて速く走るために考えられている。速く走ることの基礎は簡単な物理の式で表される。車の加速度は式(1)に示すように、車の質量と牽引力(あるいは制動力)の関係で表される。そして速度は加速度の積分であるから、式(2)のように表すことができる。さらに車の位置すなわち走行距離に関しては、速度をさらに積分することで式(3)のように表されることになる。レースでは決められた距離をできるだけ早くあるいは決められた時間に行けるだけ長距離走ることが競われるわけであるから、これらの関係式より、式(1)の加速度を大きくすることが求められていることがわかる。すなわち、車の質量をできるだけ軽く、牽引力(あるいは制動力)をできるだけ大きくすることが求められるわけである。

$$\text{加速度} = F/m \quad \dots\dots(1)$$

$$\text{速度 } V = \int dt = F/m \cdot t \quad \dots\dots(2)$$

$$\text{位置 } L = \int V dt = 1/2 \cdot F/m \cdot t^2 \quad \dots\dots(3)$$

$F$  : 牽引力

$m$  : 質量

牽引力あるいは制動力の発生要因を考えると、当然それらはエンジンあるいはブレーキの能力に影響されているが、実はそれだけではない。エンジン出力がいかに大きく、ブレーキトルクがいかに大きくなったとしても、車と地面をつないでいるのはタイヤであり、タイヤの能力以上のことはできない。ここでも物理の簡単な式が登場する。つまり摩擦で伝えることができるのは、摩擦係数と垂直抗力の積までという式である(式(4))。

$$F \leq \mu \cdot N \quad \dots\dots(4)$$

$\mu$  : 摩擦係数

$N$  : 垂直抗力

車は走行抵抗と牽引力のバランスする速度で走れるわけであるから、式(5)が成立する。

$$F = m \cdot \mu r + m \cdot \sin \theta + \rho \cdot A \cdot V^2 \quad \dots\dots(5)$$

$\mu r$  : 転がり抵抗係数

: 勾配

: 空気抵抗係数

$A$  : 前面投影面積

$V$  : 対気速度

つまり速く走るためには走行抵抗を小さくする、即ち転がり抵抗係数と前面投影面積、空気抵抗係数を小さくすることが必要であることがわかる。

以上を総合すると、レーシングカーが求める基本的性格が決まる。

軽い質量

大きなパワー

大きな垂直抗力

大きな摩擦係数

小さい走行抵抗(転がり抵抗、前面投影面積、空気抵抗係数を小さくする)

これらの要素の中で、外観デザインが大きく影響するのが、走行抵抗の一部をなす空気抵抗と垂直抗力を生み出す空力的力(ダウンフォース)である。

空気抵抗を低減するには、式(5)より明らかなように、前面投影面積を小さくすることと、空気抵抗係数を小さくすることが効果を発揮する。前面投影面積を小さくすることは、車両をコンパクトにまとめることにつながり、軽量化にも一役買うことになり、相乗効果が見込める。とはいえ、ホイールベースやトレッドは、搭載するエンジンのサイズや、加減速及びコーナリングの要求から決まってくるものであり、前面投影面積を小さくしようと思うと、デザイン面では高さ方向の検討要素しか与えられないこととなる。

しかしここまでの議論には曲がることが考慮されていない。速く加速し、減速することも大切だが、実際のレーシングコースでは直線だけでなく、コーナーもあるため、いかにコーナーを速く曲がるかも問題となってくる。コーナーを速く曲がるための要素を考えると、上記以外に次のようなことが要求される。

低い重心

小さい縦軸周りの慣性モーメント

大きなコーナリングフォース

コーナリングフォースは牽引力同様タイヤが発生するものであるから、ここでも摩擦係数と垂直抗力の影響が登場する。重心位置や、縦軸周りの慣性モーメントには重量物であるエンジンやドライバーの配置が大きく影響する。このためフォーミュラレー



Fig. 1 2003年鈴鹿におけるフェラーリF1

シングカーや、レース専用に製作されるスポーツカーでは、大抵の場合ドライバーの後ろ、リアアクスルの前にエンジンを配置したミッドシップ形式がとられる。

### 5. 全日本学生フォーミュラ大会参加車両に見るレーシングカーのデザインの実態

アメリカ自動車技術会 (Society of Automotive Engineers) が1981年より開催を始めた学生向けのフォーミュラレーシングカー製作プロジェクトである「Formula SAE」を基に、2003年9月より自動車技術会主催で始まったのが、「全日本学生フォーミュラ大会」である。「アマチュアサンデーレーサー市場に向け、3万ドルで排気量610cc以下のオープンホイールフォーミュラレーシングカーを製作せよ」というのが、この大会参加者に与えられた課題である。

細かな規則は省略するが、前述のように購買層を「アマチュアサンデーレーサー」と仮定し、各大学チームがレーシングカー販売会社にレーシングカーを売り込むことを想定して車両を企画・製作し、その企画内容、製造コスト、性能などを総合的に競う競技会である。車両の規格に関しては、安全面の規定（ロールバーの材質及び寸法、クラッシュプルゾーンの設定など）以外は学生の創造性を生かせるような他の一般的なレーシングカーに比較し、ゆるい規定となっている。

しかし学生たちが製作する車両であるため、工作技術に問題があることも予想される。そこで競技会で行われる性能の審査（加速性、定常円旋回、数百mのタイムアタックと20km程度の耐久タイムアタック）では、最高でも100km/h程度の速度しか出ないようなコース設定となっている。

ここで具体的に2003年の全日本学生フォーミュラ大会参加車両を同じく2003年の鈴鹿におけるF1マシン (Fig.1) と比較しつつ、デザインから見た安全への配慮を見てみることにする。

#### 5-1 転倒事故に対する対策

前述のごとくロールバーを装着して転倒事故からドライバーの生存空間を確保している点では同じような対策が採られている。ロールバーに使用するパイプは、材質と寸法が規定されており、ドライバー後方のバーと、ドライバー前方のバーを結ぶ線と、ドライバーの頭の位置関係が規定されていることも、ほぼ同様であるが、F1と比較して前後長が短い学生フォーミュラにおいては、その空間を確保するため、どうしても後方のロールバー高さが高くなる傾向にあり、どの大学のマシンを見ても、ロールバーが高く突き出した独特なスタイルとなっている (Fig.2)。これに対し、F1マシンでは、ロールバーをインタークーラダクトの一部として一体化することで、高さ方向に飛び出している違和感を打ち消すことに成功している (Fig.3)。これにはF1と学生フォーミュラの走行速度域の違いが影響し、デザイン面での対応の違いが生まれている。つまりF1では300km/h近いスピードで走行するため、空気抵抗をいかに小さくするかが大きなポイントになるとともに、エンジンへの吸気に対してもこの高速走行で発生するラム圧を活用しない手はない。そこで吸気口をドライバーの頭上に設けるとともに、ロールバーの後方形状を流線型にすることで空気抵抗係数の減少を図っているわけである。対して学生フォーミュラの場合、安全に対する配慮から、コース幅や直線の長さ、カ

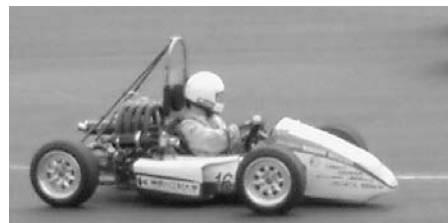


Fig. 2 神奈川工科大学の車両



Fig. 3 2003年型ウィリアムズF1のロールバー



Fig. 4 衝撃吸収ボックス

ープの半径などが制限されており、大抵の車がコース上で出せる最高速度が約100km/h程度となっている。短距離のタイムを競うオートクロスや、耐久性を競うエンデュランスの平均車速はほぼ60km/h以下になるなど、空気抵抗があまり大きな影響を与えない領域で競われている。このためロールバー後方での整流を考えてカバーを装着するよりも、カバーを付けないことによる軽量化を選択するチームが多いのが現状である。このような使用速度域の違いによる要求機能の違いから、デザイン面での違いが出てきているといえる。

### 5 - 2 フロントからのクラッシュに対する対策

フロントからのクラッシュに関しては、F1の場合車体先端部のノーズコーンが衝撃吸収構造となっているが、学生フォーミュラでも同様の配慮が規定されている。Fig.4に示すような衝撃吸収部材をフレーム先端に装着し、前方からの衝突における衝撃吸収を考えている。F1ではノーズコーンとしてポディー外形形状がそのままクラッシュアブルゾーンを形成しているが、学生フォーミュラでは製作を容易にするため、衝撃吸収部をフレーム装着とし、その上にポディー外皮を被せる構造がとられている。

しかし前面衝突に関し、F1と大きく異なるのはドライバーのポジションである。F1をはじめとする多くのレーシングカーでは、前方からのクラッシュに際してドライバーの足を守るため、ドライバーの足がフロントアクスルから前に出ることを禁止しているが、学生フォーミュラでは特にそのような規定が設けられていない。これは走行車速が低いため、そこまでの規定が必要ないという判断がベースであると思われる。コースが狭いテクニカルコースであ



ペダル類がフロントアクスルより前方に位置する  
Fig. 5 上智大学の車両



Fig. 6 サイドエンジンの東京大学の車両



Fig. 7 2003年型フェラーリF1のcockpit

ることもあり、学生フォーミュラの車両は特にコンパクトに作ることが要求されている。このためホイールベースを短くすると、ドライバーの後方にエンジンを配置する通常のミッドシップレイアウトにした場合、必然的にドライバーの足がフロントアクスルより前方にまで出てしまうことになる(Fig.5)。この点、エンジンをドライバーの横に配置した東京大学チームのマシンは、ドライバーの足をフロントアクスルよりあまり前方に出す必要がなく、前方からの衝突に対してはより安全性の高い車両に仕上がっていたといえよう(Fig.6)。

### 5 - 3 サイドからの衝撃に対する対策

側方からの衝撃も何台もの車が競り合うレースにおいては十分に考えられる事態である。F1マシンを見れば、ドライバーは完全にポディーの中に納まり、さらにコクピット側面にはしっかりしたフレ



Fig. 8 2003年優勝の上智大学車両



Fig. 9 都立航空高専の車両

ムが走っているため、側方からの衝突に対しても十分ドライバーの保護が考えられていることがわかる (Fig.7)。これに対し、学生フォーミュラのマシンでは、ほとんど側面からの衝撃に関しては配慮されていない。これは、学生フォーミュラでは1台ずつのタイムアタックが基本で、競り合う場面はほとんど想定されていないことが主な要因である。車両の大きさや、要求されるボディ剛性の違いも影響していると思われるが、学生フォーミュラの車両の多くは、ドライバーサイドのフレーム高さが低く、側方から見るとドライバーの腕が剥き出しである場合が多い (Fig.8)。一見非常に危険な状態であるが、このためアームレストレイントというドライバーの腕を拘束するベルトの装着が義務付けられている。

これは、ベルトによりドライバーの腕をシートベルトと結び、万一の際にもドライバーの腕がある程度以上側方へ動かないように規制するものである。

学生フォーミュラの中にあって都立航空高専の製作した車両は、ドライバーがしっかりとフレームの中に横たわって沈み込んだデザインを取っており、見るからに低く安心感のあるデザインであった (Fig.9)。しかしこれがために全長が長くなり、学生フォーミュラの狭いコースには少々不適當であったようだ。

#### 5 - 4 その他の安全対策

シートベルトに関しては、学生フォーミュラでもFIAで求めているのと同様の規格に合格した製品の使用を義務付けるとともに、その装着方法に関しても同様の規格が定められている。

F1をはじめ、FIAの統括する多くのモータースポーツでは、万一の事故の際に燃料の飛散による火災事故を防止するため安全燃料タンクの装着が義務付けられているが、学生フォーミュラではそこまでの要求はされていない。

#### 6 . まとめ

レーシングカーの安全につき、F1と全日本学生フォーミュラ大会参加車両の対比を例にデザインの視点を交えて見てきた。主に狙いとする速度範囲の違いにより、安全に対する考え方や車両に求められる機能が違い、このため外観上も同じオープンホイールフォーミュラカーではあるものの、かなり異なったデザインとなっていることがわかった。