F1レギュレーションと技術の変遷

Transition of Regulation and Technology in Formula One

田　中　尋　真*
Hiromasa TANAKA

要　旨

F1のレギュレーションは，公平性，競技性，安全性，持続性，興行性を考慮して定められている．コンストラクタが自らのオリジナルな車両で参戦することが義務付けられるF1の技術規則は，自由な技術競争を保証するため，最小限度の基本事項以外は本来自由となっている．

1990 年代初頭から 2009 年まで，車両の性能抑制と安全性向上を目的とした継続的な規定強化がおこなわれたが，それを上回るさまざまな技術開発により，F1のラップタイムはほぼ毎年短縮されてきた．それらのせめぎあいの結果として，F1 技術規則の記述は文字数にして 19 年間で３倍以上に増加した．

2000 年代の F1 では，コンピュータを活用した広範囲で詳細な技術開発とともに，それを取りまとめる総合的な技術マネージメントが要求される．特に近年は，世界的な経済状況悪化にともなうコストダウンや，地球温暖化対応に象徴される環境適合技術の推進とともに，レースの本質である競争を際立たせスペクタクル性を増す取り組みもおこなわれるなど，急激な社会的変化に対応すると同時に，F1がその存在意義を問い直される時代である．

ABSTRACT

The Formula One regulations are established with consideration of fairness, competition, safety, sustainability, and entertainment value.

In order to ensure free technological competition, the technical rules of Formula One, under which constructors are obliged to compete using original vehicles, are essentially free, other than specifying minimum basic items.

From the beginning of the 1990s to 2009, despite continuous changes in the regulations to increase vehicle performance control and safety, lap times improved almost every year due to the development of technologies that exceeded regulation stipulations. As a result of these battles, the letter count of the Formula One technical regulations has increased more than three-fold over 19 years.

Detailed technological development spanning a broad range of elements and involving the use of computers, in addition to a comprehensive management approach that brings these elements together, are essential to the Formula One of the 2000s. In recent years in particular, Formula One has responded to rapid social change, for example with measures to cut costs in line with worsening global economic conditions, and the development of environmental technologies, as exemplified by responses to global warming, in addition to measures to highlight competition – the essence of Formula One racing – and to increase the spectacular nature of the races. This is a period in which Formula One is reflecting upon the very meaning of its existence.

１．はじめに

F1世界選手権においては，チームは基本的にみずからのオリジナルな車両で参戦することが義務付けられており，車体コンストラクタと呼ばれる．1950 年に始まった F1 は誰が世界で一番速いかを競うドライバ選手権であると同時に，1958年以降は誰が造った車が世界で一番速いかを競うコンストラクターズ選手権でもある．ただしエンジンの製造は，専門的な技術を持つ自動車メーカまたはエンジン専門メーカ以外には困難な実状があり，エンジンは，外部のエンジンコンストラクタからの供給を受けたり購入したりすることも認められている．よって，チーム名の表記においてはシャシ名がエンジン名より先に記され，コンストラクターズタイトルは車体のみにかけられている．

レースの世界で ”ワークス ”とは，レーシングカーやレーシングエンジンなどの製作あるいはチーム運営がメーカ自

＊四輪R&Dセンター

身の手になることを意味する．HondaのF1活動は第１期，第２期，第３期に分けられ，それぞれ下記のような体制であった．

（１）第１期(1964 年から 1968 年まで)：車体，チーム運営も含めたフルワークス体制で Honda として参戦

（２）第２期(1983 年から 1992 年まで)：Spirit，Williams，Lotus，McLaren，Tyrrellなどの車体コンストラクタに対し，エンジンコンストラクタとしてワークスエンジンを供給

（３）第３期(2000 年から 2008 年まで)：

・2000 年から 2005 年まで：車体コンストラクタである British American Racing(BAR)に対してワークスエンジンを供給するとともに車体の共同開発をおこない，BAR Honda として参戦

・2006 年から 2008 年まで：車体，チーム運営も含めたフルワークス体制で，Honda Racing F1 Team (HRF1)として参戦

これと並行して，2001 年と 2002 年には Jordan Grand Prixへ，2006年から2008年まではSUPER AGURI F1 TEAM (SAF1)にもエンジン供給をおこなった．

なお，ほぼ第２期と第３期の間にあたる1994年から2000年には，エンジンコンストラクタとしてエンジンを供給していた無限（現 M-TEC）に開発技術支援をおこない，MUGEN-Honda として F1 に関与していた．

本稿では，まずF1レギュレーションの特徴を述べ，これに続いて，第２期 Honda F1 活動の終盤にあたる 1990 年代初頭から，第３期Honda F1活動の参戦最終年である 2008 年，さらに F1 からの撤退により結果的に参戦はしなかったがそこをターゲットに開発は進めていた 2009 年までの，F1 レギュレーションと技術の主要な変化について解説する．

２．F1 レギュレーションの特徴

F1のレギュレーションは，モータースポーツ全般の共通規則である国際モータースポーツ競技規則を基本とし，さらに F1 選手権独自の競技規則および技術規則から構成されている[1]．以下では，F1における技術開発に直接的に影響する技術規則を中心に，その特徴について説明する．

2.1. 基本理念と内在課題

コンストラクタが白紙から独自の車両を造り上げて競い合う F1 においては，その技術規則は競争を保証するために，禁止事項および必ず守らなければならない事項のみが最小限度定められ，そこに書かれていない事項はすべて自由となっている．例えば，ホイールベースに関しては規定が無いので，どのような長さのホイールベースを採用しても構わない．フォーミュラ１の“フォーミュラ”とは，この定められた最小限度の基本事項を意味する．

ちなみにこの基本的な考え方は，市販車レースとは対照的な位置づけにある．市販車レースでは規定生産台数を満たして公認された量産車両をベースとし，許される改造として規則に書かれた事項以外はおこなえない．

速さを競い合う中で F1 車両の性能は当然年々向上する傾向にあり，それがランオフエリアやガードレールなどサーキットの安全設備の対応限界を超えることが無いよう，車両の性能を抑制するとともに，車両自体の安全性を高める目的で技術規則の規定強化が継続的におこなわれてきている．しかし，激しい競争に勝ち抜くため各チームはレギュレーションぎりぎりの技術開発を追及するため，それを公平かつ安定的に判定するためのレギュレーションには，明確な基準と確実な判定方法が不可欠である．

そのためには規定自体を細分化，詳細化する必要があるが，いったん詳細な規定が定められると，そこで定義される狭い範囲から少しでも外れれば，その規定の対象外ということで開発自由度を見出すことが可能となる．こうして，規定とすれ違おうとする開発と，それを取り締まろうとするさらに詳細な規定の追加が繰り返された結果，1990年時点では，全 16 章，65 項，約 40000 文字で構成されていた F1 技術規則は，第３期 Honda F1 参戦初年度にあたる 2000 年には，全 21 章，140 項，約 86000 文字となり，さらに第３期 Honda F1 参戦最終年である 2008 年には，これが全 21 章，157 項，約 122000 文字にまで増加した．

レギュレーションの決定と変更の詳細な仕組みについては既報の文献[1]に譲るが，過去のF1の歴史においては，レギュレーションに明確な不備あった場合には，正式な補足ないし修正手続きが終了してから当該事項を禁止するという原則があり，それまではそこを衝いた者に先行者利益を認めていた．ただしレギュレーション文面の変更を必要としない範囲の解釈を確定する権利は常に国際自動車連盟(FIA)にあり，Technical Directive(TD)とよばれる技術指示書で F1 全チームに随時通達される．そのほか，危険とみなされる車両をレースイベントから排除する権限も FIA には認められている．また，レースイベントでの判定に不服がある場合には，モータースポーツの最終裁定機関である国際控訴裁判所(I.C.A.)に控訴することが可能である．

2.2. 解釈紛糾の具体例

2005年のレギュレーションの記述では，以下の内容が定められていた．まず車両重量の言葉の定義があり，これには装備品をすべて着用したドライバを含むこととなっていたが，これに燃料を含むか含まないかは明記されていなかった．そしてその車両重量は，予選中は 605 kg，それ以外は 600 kg未満であってはならないと定められていた．また，車両重量の最小値を満たすためのバラストの使用は認められていたが，バラストは，取り外しに工具を要する固定方法で

必要に応じ封印が可能なこととされていた．さらに，レースの間には，燃料と圧縮ガス以外の物質をマシンに加えてはならないことも規定されていた．

レース中に最低重量を下回る有利な状態で走り，レース終盤の燃料補給によってレース後の最低重量のつじつまを合わせる行為を防止するため，レース終了後の車両検査では，燃料を排出した状態で車両重量を確認することが1994年以降慣習的におこなわれてきたが，どこまでの燃料を排出すれば良いかについて FIA とチームとの間で解釈の共有が不十分であった．実際には，燃料供給系の中の全ての燃料を完全に排出するには，エンジンの一部を分解する必要があり，現場でそれをおこなうことは非現実的であるので，通常の状態で使いきれない残留燃料は車両重量に含めても良いとチームは考えていた．

2005年第４戦サンマリノグランプリにおいて，３位および５位でフィニッシュした BAR Honda の２台の車両に対して問題が提起された．当時のBAR Hondaの車両には，安定した燃料供給圧力を維持するためのサブタンクが設けられ，通常の方法ではその内部燃料は簡単に排出できない構造になっていたが，レース後の車両検査の中で，そのサブタンク内燃料とメインタンク内の残留燃料をすべて除いた上で車両重量を再計測したところ，規定の最低重量600 kgに対し 5.4 kg 不足していたとの報告がなされた．大会審査委員会は，この車両検査結果の報告を踏まえ関係者の事情聴取をおこなった上で，当初のフィニッシュ順位を確定させたが，FIA がこれを不服として I.C.A. に控訴した．

これに対するI.C.A.の見解は以下のような内容であった．チームはレース中に車両が600 kgを下回っていなかったことを物理的に証明することができず，データと理論を組み合わせての証明も，不十分とみなされた．また，燃料をバラストとして使用することは，バラストの規定に合致しないため許されないとの解釈が確認された．ただし，このバラストの解釈を尊重すると，オイル類や冷却水も最低重量に含められないことになるが，実際のレース後の検査ではオイル類や冷却水を含んだ状態で車両重量が計測されている．これは，オイル類や冷却水のレース中補給が許されず，最低重量のつじつま合わせに使われる可能性が無いことから，慣習的に車両重量に含められていると考えられる．

最終的なI.C.A.の裁定は，チームに故意の詐称行為があったことは立証できないが，検査の燃料排出時のチームの対応，およびチームが事前に正確な解釈の確認を怠った点に過失があったとして，当該レースでチーム車両２台を失格とし，直後２戦の出場を停止，さらに１年間の執行猶予付きで６ヶ月間の出場停止を課するというものであった．

スポーツとしての F1 レースにおいては，検査されるかされないかにかかわらず参加時点で車両の合法性を宣誓したとみなされ，それを立証する義務も常にチーム側にある．また，規則の解釈権限は競技を司る権能者としての FIA に帰属することが定められ，尊重されなければならない．よってこの裁定に対して異を唱えるつもりはまったく無いが，その後，2008 年以降の技術規則で，6.6. 項に車両からすべての燃料を抜き取る手法の提示義務が追記されたことによって，規則解釈の食い違いがより確実に防止されたと考える．

３．F1 レギュレーションの推移

以下では，各技術領域ごとにいくつかの技術開発事例を交えながら，レギュレーションと技術の変化を解説する（Table 1）．なお，技術内容の詳細については，本特集号の各稿を参照されたい．

3.1. エンジンおよびパワープラント

エンジンに関するレギュレーションは，車両の性能を抑制するねらいで継続的に見直されてきた．1995年に，それまで 3500 cm³ だった最大排気量が 3000 cm³ に変更され，2006 年からはさらにこれが 2400 cm³ に縮小された．気筒数の制限は 1999 年までは最大 12 気筒であったが，エンジン単体としての性能よりも車両としての総合バランスがより重視される技術動向の中で，10 気筒エンジンが徐々に主流となり，レギュレーションでこれが10気筒に限定される2000年時点以前に，既にすべてのエンジンが10気筒となっていた．さらに2006年には，最大排気量の縮小とともに気筒数は８気筒に限定された．

エンジン出力追求の観点からは必ずしも理想的ではないが，冷却系の開口部で発生する車体の空力抵抗を低減すべく，1990年代中盤から冷却水の高温化が各チームで進められた．これに歯止めをかけるべく1999年からは冷却水の加圧が最大 3.75 bar に制限された．

それまで規制の無かったエンジンの最高回転数は，2006年時点でほぼ 20000 rpm に達していたが，2007 年からはこれがレギュレーションで 19000 rpm に制限され，さらに 2009 年には 18000 rpm 以下となった．しかし，限られたエンジン回転数の中でより速く走るために，エンジンの高回転使用頻度は逆に増大する傾向となり，耐久性向上の開発がより必要となった．

エンジンの仕様変更と，年間使用基数を抑制しコストを下げることを意図して，エンジンの最低使用距離規制（ロングマイレージ化）も導入された．それまでは，３日間のレースイベント中，常にエンジン交換が許されていたが，2004年には，１レースイベントを１エンジンで走りきることが義務付けられ，翌年以降は，これが２レースイベントあたり１エンジンへと，さらに厳しい条件に変更された〔2007 年以降，金曜日のフリープラクティス（FP）は除外〕．なお2009年は，年間使用総台数８基の制限となった．

2006年からは，過当な開発競争によるコストアップを防

Table 1 Transition of F1 regulations

		1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
Engine and powerplant	Supercharging	Prohibited from 1989																			
	Capacity	3500 cm³ maximum					3000 cm³ maximum											2400 cm³ maximum			
	Number of cylinders	12 maximum										10						8			
	Homologation or limitation of specifications	Free																Limitations on fundamental dimensions, weight, and materials	Homologated		
	Mileage	Free														1 engine for 1 race event	1 engine for 2 race events		1 engine for 2 race events (Excluding FP1 & FP2)		8 engines for 1 season
	Rev limit	Free																	19000 rpm		18000 rpm
	Inlet systems	Free																Variable geometry prohibited			
	Cooling system water pressure	Free									3.75 bar maximum										
	Hybrid systems	Free									Prohibited										KERS permitted
	Refueling during race	Prohibited				Free															
Fuel	Properties	–		Specific gravity controlled	Type used by general public						Commercial fuel or fuel in development for future commercial use				Commercial fuel					Commercial fuel 5.75% (m/m) biofuel	
	Sampling	–					Sampling at circuit Approval before use														
Gear box	Automatic gear changing	Prohibited												Free		Prohibited					
	Forward gear ratios	Free				Minimum: 4; maximum: 7														7 maximum	
	Continuously variable transmission	Free												Prohibited							
	Clutch	Free												Twin clutch prohibited							
	Specification limitations	Free																		Limitations on fundamental dimensions and materials	
	Mileage	Free																		1 gear box for 4 race events (Excluding FP1 & FP2)	
Minimum weight of car	Machine weight	500 kg (without driver)	505 kg (without driver)				595 kg (with driver)	600 kg (with driver)				600 kg (with driver)				605 kg for qualifying (with driver) 600 kg for others (with driver)			605 kg (with driver)		
Chassis	EPS	Free												Prohibited							
	Ballast	–										Moving ballast prohibited and area of skid block fasteners limited									
Bodywork and dimensions	Overall width	2150 mm maximum			2000 mm maximum					1800 mm maximum											
	Facing ground	Flat bottom					Stepped bottom														
	Rear wing maximum height	1000 mm above ground			950 mm above ground		800 mm above reference plane														950 mm above reference plane
	Rear wing maximum width	1000 mm																			750 mm
	Rear maximum overhang	600 mm	500 mm													600 mm					
	Rear center diffuser maximum width	1000 mm					300 mm														1000 mm
	Rear diffuser maximum height	Free																		125 mm maximum (without center area)	175 mm maximum
	Front wing maximum overhang	1200 mm	1000 mm		900 mm																1000 mm
	Front wing maximum width	1500 mm	1400 mm																		1800 mm
	Front wing height	Up to height of front wheel rims (end plates) Free	At least 25 mm above reference plane			At least 40 mm above reference plane	Between 50 mm and 250 mm above reference plane						Between 100 mm and 300 mm above reference plane				Between 150 mm and 350 mm above reference plane				Between 75 mm and 275 mm above reference plane
	Enforcement of other bodywork limitation and deflection test						No body work area around front wheel	Height reductions just front of rear wheel			Side wing prohibited Front wing test (downward) Rear wing assembly test (rearward)		Test just front of rear wheel (downward)		Splitter test (upward)	Rear wing top element test (rearward)	Rear wing front element test (downward)		Rear wing element bridge mandated		Designated front center wing
Tires	Tire width	18 inch maximum			15 inch maximum					Front 305-380 mm Rear 365-380 mm	Front 305-355 mm Rear 365-380 mm										
	Tire tread	Slick								Grooved Front-3 Rear-4	Grooved Front-4 Rear-4										Slick
	Tire supplier	–									Single supplier		–						Single supplier		
Electronically controlled devices	Traction control	Free					Prohibited Software validation in advance							Free						Prohibited (Single ECU)	
	Launch control	Free					Prohibited Software validation in advance							Free		Prohibited (FIA logger observation)					
	Chassis devices	Free				Prohibited															
Materials	Specific modulus	–										40 GPa/(g/cm³) limit for engine moving parts	40 GPa/(g/cm³) limit for all parts								
	Material designation	–																Designated for engine parts			
Safety	Frontal crash test speed	11 m/s					12 m/s				13 m/s		14 m/s						15 m/s		
	Side impact test	–					Mandated														
	Side panel penetration test	–										Specific designation	Mandated								
	Suspension tether	–									Single tether		Double tether								

ぐため，基本寸法の共通化，エンジン単体の最低重量および重心高の最低値が規定された．さらに翌2007年からは，一度申請し登録された主要なエンジン仕様の変更を禁止する公認（ホモロゲーション）制度が，当初の予定より１年前倒しで実施され，同時にそれまで許可されていた吸気管長可変機構も禁止された．この公認制度の導入は，先に述べた自由な技術競争を基本とする F1 の理念の大きな方向転換を意味する．この結果，公認申請期限直前には，少しでも基本性能を上げておくべく多岐にわたる開発が集中することとなったが，その後のエンジンの開発は，許された領域の細かい改良と特性のチューニングにほぼ限定された．

エンジン以外の推進力を基本的に認めないそれまでの考え方を徹底し，一部チームが使用していると言われたハイブリッドシステムを禁止すべく，1999 年には排気量 3000 cm^3 のエンジン以外の動力源が禁止され，復元可能な貯蔵エネルギー最大総量は 300 kJ に，特に 2 kW 以上の仕事率で復元されるものは最大 20 kJ に制限された．しかしモータースポーツを通しての環境対応技術の開発促進という主旨で，2009 年からは逆に Kinetic Energy Recovery System（KERS）とよばれる一種のハイブリッドシステムの使用が許可されることとなり，このシステムのみは上記の制約から除外され，最大 60 kW の入出力，１ラップあたり最大 400 kJ のエネルギー復元が可能となった．

しばらく禁止されていたレース中の給油が，1994年から再び解禁され，ピットストップのタイミングと給油量がレース戦略として注目されるようになった．これに呼応して，航空機の給油システムの技術を応用し，安全で素早くかつ一定した流量で給油が可能な統一形式の給油装置の使用が 1995 年から義務付けられた．

燃料の組成は，1992 年第 11 戦以降基本的に市販ガソリンに準ずるという解釈が徹底され[2]たが，1999年から2002年にかけては，各種炭化水素の含有率の細かい規定を前提に，将来の市販ガソリンの改良を目指した開発目的の燃料も使用可能と規定された．また世界的な地球温暖化対策に対応すべく，2008 年からバイオ燃料の 5.75%混入が義務付けられている．

3.2. ギヤボックス

1990年代初期に確立した，シーケンシャル式シフト機構をベースにステアリングホイールに取り付けられたパドルでシフト操作をおこなうセミオートマチック式ギヤボックスは，F1ギヤボックスの基本形式として継続使用されてきた．後述する2001年途中からの電子制御の大幅規制緩和に伴い，ドライバの操作によらない自動シフトが一時可能となったが，ドライバの技量差が見えにくくなることを懸念して（ドライバエイドの禁止）2004年の規制強化で，自動シフトは再び禁止されることとなった．

前進の変速段数自体は，1994年に最大７速と規定されて以降基本的に変化していないが，2001年第５戦より連続可変トランスミッションの禁止が明文化された．その後2002年に，あらかじめ噛み合わせた次変速段への連続的な切り替えを可能とするツインクラッチも禁止され，ギヤボックスの理想の姿である駆動力に切れ目の無い変速は事実上禁止されたと思われていたが，綿密なレギュレーション解釈確認を経て開発されたワンウェイ機構利用のシームレスシフトが 2005 年に BAR-Honda によってレース投入され，その後各チームも追随して F1 界の標準技術となった．

サスペンションが取り付けられる車体構造物としてのギヤボックスケースは，1980年代から各チーム独自の設計と製法が取られてきた．1990年代前半には，マグネシウム鋳造が主流であったが，その後軽量高剛性を追及するため，チタニウムの薄肉鋳造ないし溶接板組み構造や CFRP 補強なども使われるようになり，ついに 2004 年に，BAR Honda がフルCFRP製のギヤボックスケースを初めて実用化した．

ギヤボックス内部のギヤやシャフト類については，2000年代になっても一部の例外を除いて既存のギヤボックスメーカの既製品を使用するのが主流であった．しかし，軽量コンパクト化を目指した開発競争激化により，チーム独自のギヤの開発が活発化したため，コストの高騰を懸念して2008年からは，レギュレーションで前進ギヤの材質が鉄に限定され，ギヤ最小幅，ギヤ重量，軸中心間距離なども規制された．

また，同じく 2008 年からは，ギヤボックスにもロングマイレージ化の考え方が導入され，同一のギヤボックスを４レースイベント連続で使用することが義務付けられた．ただし，サーキットに合わせたギヤレシオとドグリングの交換は，条件付で認められている．

3.3. 車体

1990年代初頭には，市販車の車体電子制御技術の発達と呼応して，F1でもアクティブサスペンション，トラクションコントロール，四輪操舵，アンチロックブレーキなどの採用が試みられ，特に安定した空力性能を生む姿勢制御が実現可能なセミアクティブサスペンションは大きな効果を発揮した．しかしながら，性能抑制の観点と，コストの高騰防止およびドライバエイドを禁止するため，1994年には車体の電子制御が禁止された．

空力の進化やタイヤグリップの向上に伴う操舵力の増大に対処するため，1990 年代前半から F1 でも使用されるようになったパワーステアリングも，1994年以降その使用は肉体的な力を補助することだけに限定された．当初はこの条件を満たしていれば電動パワーステアリング（EPS）の使用も認められていたため，2000 年第 12 戦から 2001 年にかけて，Honda が開発した F1 用の EPS を他チームに先駆けてレースに投入した[3]．しかし，その制御内容を確認，判定することは困難で，ドライバエイドとなる制御を組み込

める可能性があるという理由で，2002 年以降 EPS の使用は全面禁止となったため，現在の F1 のパワーステアリングはすべて油圧式となっている．

車両の最低重量は，当初ドライバを含まずに規定され，1990 年には 500 kg であったが，1993 年には 505 kg となった．1995 年以降はドライバ含めて規定されるようになり，1995 年には 595 kg，1996 年には 600 kg，2004 年には予選のみ 605 kg に引き上げられ，2007 年にはレースイベントを通して 605 kg となった．これ以前の経緯に比べると，最低重量の規定値自体はそれほど大きくは変化していない．

タイヤも含めた車体の最大幅は 1993 年にそれまでの 2150 mm から 2000 mm となり，1998 年にはそれがさらに 1800 mm まで縮小された．特にフォーミュラカーの場合これは直接的にトレッドの縮小を意味し，左右輪の荷重移動増大による車両の旋回限界速度引き下げを意図したものであった．各チームは車両を軽量化した分，比重の大きなタングステン合金製のバラストを極力低い位置に搭載して少しでも重心を下げ，旋回限界速度を引き上げるべく，車両の軽量化に取り組んだ．その結果トップチームのバラスト搭載量は 70 kg 以上に達したが，これは空力重視のために車両前半部寸法(前輪とサイドポンツーン間の距離)を確保しつつ，前後重量配分をかなり前寄りに維持してタイヤの発熱や車両の運動性能を向上させるのにも有効であった．これに対し，2000 年には安全上の理由から，可動バラストの禁止，および最下部のバラストとして使われるスキッドブロック止め具の面積規制が実施された．

増え続けるダウンフォースを大幅に削減して車両の旋回速度を引き下げるべく，1995年にはそれまでのフラットボトム規定に代えて車体下面と地面との距離をより離すステップドボトム規定が採用され，車両の地上高を上げるスキッドプレートも義務付けられたが，車体底面に積極的に空気を流し込んでダウンフォースを高めるハイノーズが1990年に登場し，1996年には全チームに採用された．フロントサスペンション形式もより空力への貢献が重視され，2002年にはツインキールマウントが，2005年にはゼロキールが登場したが，F1の場合フロントサスペンションのストロークが極端に少ないため，その中ではジオメトリより剛性確保が重視される傾向にある．

これと並行して，空力寄与度が高まった前後のウィングや車両下面後部のディフューザにも 1991 年頃から寸法規制の見直しが始まり，2000年以降はほぼ毎年何らかの規制強化が追加された．また車体各部の流れを整えて全体でダウンフォース増大を図る，ボルテックスジェネレータ，バージボード，ウイングレットなどの空力付加物も多様な進化を遂げたため，車体各部の寸法規制が何度も追加された．

さらに1999年以降は，高速での空力抵抗が減少するフレキシブルウィングが使われ始めたため，車体各部の変形量測定や，撓み防止エレメントの装着などが義務付けられた．

グリップの絶対レベルを下げるために，それまでの溝の無いスリックタイヤに代えて1998年から採用されたグルーブドタイヤは，1999年にフロントの溝を１本増やして前後とも４本溝となり，その後2008年まで使用された．グルーブドタイヤはトレッドゴムの剛性が低い分，どうしても反応に遅れが出やすくコントロール性に課題がある．また，溝間のブロックが倒れるように変形して角部からのめくれ磨耗(グレイニング)を起こしやすいという扱いにくさがあった．このグルーブドタイヤを使いこなすには，タイヤの温度管理をうまくおこなうことが不可欠であり，同時に車両全体のバランスや微小な過渡応答特性をきちんと確保して，車両のコントロール性を高めることも必要であった．なお2009年には活発な追い越しを可能とすべく，空力の大幅な見直しによって旋回性能引き下げるとともに前走車の後流影響を低減する考え方の空力規制が導入され，同時にコントロール性の高いスリックタイヤが復活した．

3.4. 制御

F1における制御は，ドライバーズエイド禁止の観点から常に規制される宿命にあるが，デバイスの装着有無により比較的容易に判定できる車体系の制御に比べ，トラクションコントロールに代表されるエンジン側での駆動力制御の規制は困難である．1997年からソフトウェアの事前チェックが義務付けられていたが，FIA検査官が各チームごとに，数日間ホテルの部屋に缶詰になって，ソースコードをチェックしても完全な規制は不可能であった．この規制が運用上の限界に達したためか，2001年第５戦から安全に関する例外を除いてソフトウェア規制が撤廃され，エンジンの駆動力制御が事実上自由化された．

これによりトラクションコントロールのみならず，エンジンブレーキ制御や，制動中にエンジン駆動力によって後輪のブレーキロックを防止して一種のABS効果を得るオーバーランコントロールなどの開発が進められた．

また，レーススタート時に刻々と変化するタイヤグリップを最大限に利用して加速力を高めるローンチコントロールも大きく進化したが，エンジンやクラッチの使い方を細かく規制し，搭載が義務付けられたFIAの統一データロガーでそれを監視する手法を導入することで，2004年からまずローンチコントロールが禁止された．

その後，FIA 統一 ECU 使用義務付けで初めて正確な管理が実現し，2008年以降トラクションコントロールをはじめとする駆動力制御が再び禁止された．

3.5. 材料

それまで F1 の材料については，レギュレーション上であまり多くの規定が定められていなかったが，人体に有害なベリリウム合金の使用が問題となったことを皮切りに，結果的には軽くて剛性が高い高価な材料の使用が制限され

ることとなった．2000年にエンジン可動部品以外への使用が禁止された比剛性40 GPa/(g/cm³)以上の材料は，2001年からは車両全体で全面使用禁止となり，2003年にはさらにそのバラツキ管理が詳細化された．

これに呼応して材料開発においては，それまでの純粋な軽量化や高剛性化から，レギュレーションで定められた組成や物性値を守りつつ，より高機能で望ましい材料を追求すべく，成分や製造プロセスをきめ細かくコントロールするアプローチと，表面処理技術の発達や，分子レベルでの研究など，いっそう高度な技術が要求され進歩を促した．

なお，2006年以降，エンジン部品については各部位ごとに使用できる材料の種類が細かく指定されることとなったが，その範囲内での開発は続けられた．

3.6. 安全性

1994年のローランド ラッツェンバーガーおよびアイルトン セナの死亡事故を受け，パッシブセーフティの急速な改善をはかるべく，レギュレーションが大幅に見直され，その後も継続的な見直しが続けられた結果，それに続く15年間F1でのドライバ死亡事故は発生していない．詳しくは既報の文献を参照されたい[(1), (4)]．

2001年開幕戦で，ジャック ヴィルヌーヴがドライブするBAR Hondaチームの車両が，他車に乗り上げた後空中を飛んで激しくクラッシュしたが，頑丈なカーボンモノコックに守られたドライバ自身には殆ど怪我がなかった．ただしこのとき不運にも車両からちぎれて飛散したホイールの直撃を受けたコースオフィシャルが亡くなられた．このような事故を防ぐため既に 1999 年からアップライトとシャシとの連結ケーブルが義務付けられ，毎年基準が引き上げられていたが，安全に完璧はありえないということで翌年以降も繰り返し規制が強化された．

４．F1 レギュレーションの傾向と影響

F1のレギュレーションは，公平性，競技性，安全性，持続性，興行性を考慮して定められている[(1)]．上述したレギュレーション変遷を全体的にまとめると，1990年代から2009年までにおいては，下記のような傾向があり，技術開発の方向性にも大きな影響を及ぼした．

1990 年代は，1994 年に起こった８年ぶりのドライバ死亡事故を受けて，安全性の見直しが急速に進められた時代であった．Honda が F1 に復帰した 2000 年以降でも，車両の性能抑制と車両自体の安全性向上は継続的に推進され今日に至っている．車両の性能抑制は，エンジンへの規制を中心とした動力性能の抑制と，車体寸法，空力，タイヤへの規制による旋回速度の引き下げを中心におこなわれた．

このような規制の中でさらなる性能を追求し競争力を確保するため，損失を減らす高効率な新機構の開発やコンピュータによる熱および流れの解析に基づく改良が推し進められた．またレース開発における普遍的で不可欠な要素である軽量化，コンパクト化，高剛性化も，単なる材料置換に止まらず，構造解析技術を活用した限界設計，材料の特性および機能の作り込みに至るきめ細かい技術の積み重ねなどによって，新たな段階に入ったと言える．

さらに，各技術要素の個々の性能を引き上げるだけではなく，車両としての総合的なパッケージバランスを改善することで競争力を高める方向への技術動向変化は，既に 1990 年代から見られたが，2000 年代に入って特に重要となった．前述した車体の最大幅縮小により，タイヤとボデーワークの間隔が狭まると，リヤウィングへの流れを考慮した低くスリムなリヤカウル実現のため，エンジンの小型化や，幅の狭い縦置きギヤボックス採用，さらには排気管の長さや取り回しにも影響を及ぼした．

車両の競争力を確認するため，さまざまな測定，解析，シミュレーション技術が駆使されたが，その評価判定をおこなうには，人が車を速く走らせるとはどういうことかという根源的な命題に改めて取り組む必要性が生じた．2000年代の F1 は，コンピュータの急速な進化により可能となった大規模で高速なデータ処理を活用し，広範囲で詳細な技術開発が進められるとともに，それを取りまとめる総合的な技術マネージメントや技術思想が問われる世界である．

これらのレギュレーション変化とそれに対応した技術開発の結果として，F1 の予選ラップタイムが 2000 年以降どのように変化してきたかを Fig. 1 に示す．これは，９年の間で１周の距離が変更されていないサーキットを選び，雨天の場合を除外して，2000年を基準とした予選の最速ラップタイムの短縮比率の推移を表わしたものであるが，2006年のエンジン排気量の20%縮小など度重なる性能抑制をねらった規則変更にもかかわらず，ラップタイムは短縮あるいは少なくとも横ばいの傾向にあり，ほとんど増大はしていないことがわかる．

これは，F1がまだまだ向上する余地がある技術的に未完成なものであることを示している．中でも複数のタイヤ供給メーカが競争をおこなった時期のラップタイムの急激な短縮と，予選から決勝ゴールまでのタイヤ交換が禁止された 2005 年のラップタイム悪化から，現在の F1 の速さに対するタイヤの影響の大きさがうかがえる．

このような激しい開発競争によるコストの高騰に対する懸念は従来から指摘されていたが，近年の世界的な経済状況の悪化にともないコストダウンにつながる具体的な規制が急速に適用された．単なる使用材料の規制などに止まらず，エンジンやギヤボックスの寿命延長，開発自体を抑制する公認制度や実走テストの距離および日数の制限，レース現場での作業を削減するため予選から決勝までの間での車両の修理および調整を禁じるパルクフェルメルールなど，さまざまな規則が追加された．しかし，例えば実走テストを

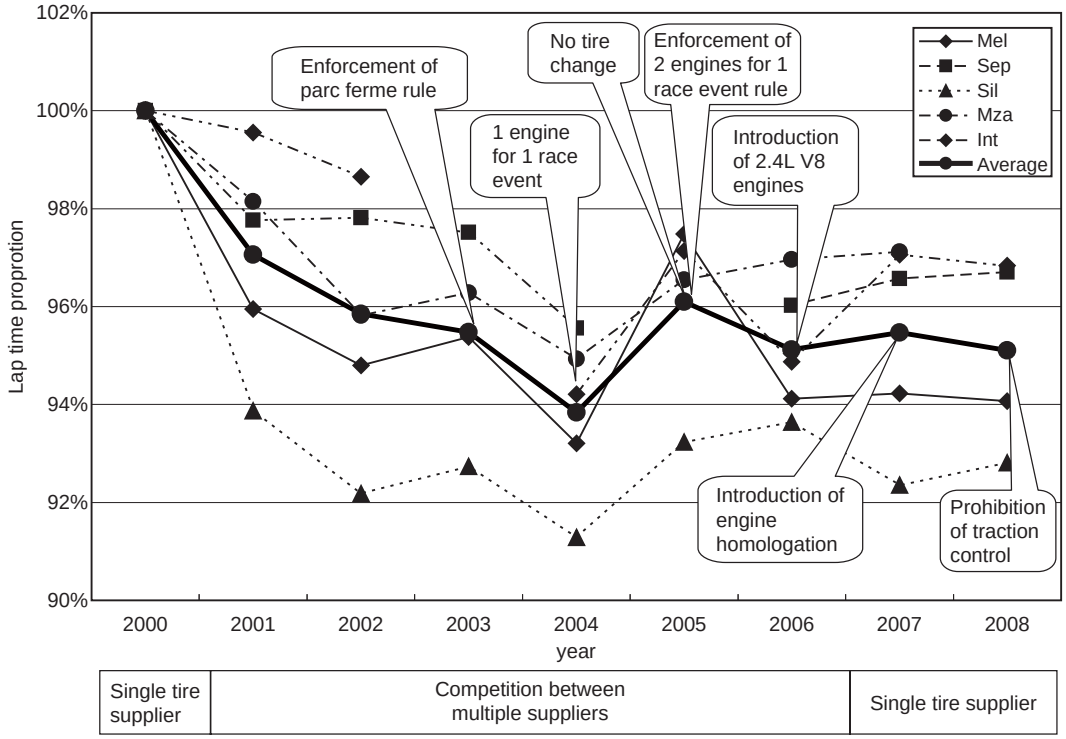

Fig. 1　Transitioin of lap time

規制すればそれに代わる台上テストやシミュレーションで開発をおこなうことになり，それらの手法自体の開発がさらに必要とされる結果となった．これに対しては，開発設備の使用時間制限や，開発コストの総額を規制するコストキャップ制度なども真剣に検討されている．

地球温暖化に対応する環境適合性も重視され，エネルギー再利用技術の推奨や，CO_2の総発生量を抑制する燃料の義務付けなどが近年導入されたことも注目すべき点である．

レースの根本である競争をより際立たせ，興行的にスペクタクル性を増大させることへの取り組みも改めておこなわれている．ドライバの技量差や個性が実感でき，白熱したレースの迫力が観客に伝わることは，今後も F1 が存続してゆく上で不可欠な要素であろう．

以上のように，現在は急激な社会的変化に対応すると共に，F1がその存在意義を問い直される時代であると言える．意のままに動く車は速く走れるだけでなく，結局安全で疲れが少なく運転していて楽しいものである．走らせる環境や速度域は大きく異なるが，その本質は F1 でも市販車でも共通であり，これからも F1 の技術開発が自動車の根源的な進化に対して貢献し続けることを願ってやまない．

5．おわりに

F1には，競技，技術競争，興行などさまざまな側面があるが，十分な戦績を残すことができなかった第３期のHonda F1活動は，企業の認知度やイメージ向上という観点からは目標を達成したとは言いがたい．しかし，スポーツマンシップに則り，技術開発に対するこだわりと，けっして諦めないチャレンジングスピリットを持って取り組み，さまざまな技術成果と原体験を手に入れたことは我々の財産であり，その過程そのものがHondaとしての生き様といえるのではないかと考えている．

参考文献

（1）田中尋真：F1 レギュレーションと技術の変遷（20074177），JSAE SYMPOSIUM, No.22-06, p.32-41 (2007)

（2）白井裕：F-1 レギュレーションの変遷とその対応，Honda R&D Technical Review, F-1 Special, p.6-9(1993)

（3）藤田英之，堀内泰，窪谷英樹，馬場純，酒井克博：F-1 用電動パワーステアリングの開発，Honda R&D Technical Review, Vol.14, No.2, p45-50

（4）田中尋真：F1 レースにおける安全技術，日本機械学会誌，Vol.109, No.1048, p.148-149(2006)

■著　者■

田 中 尋 真