

F-1 エンジン用燃料供給系の開発

Development of Fuel Supply System for F-1 Engine

田口 英 治*

Eiji Taguchi

岩 沢 勇 夫*

Isao Iwasawa

飯 田 充 正*

Mitsumasa Iida

大 森 敬 一*

Keiichi Omori

松 久 一 男*

Kazuo Matsuhisa

江 口 強 *

Tsuyoshi Eguchi

要 旨

近代的なレースエンジンの燃料供給系に求められる要件は、吸気系においては、高出力、高レスポンスエンジンをパワーコントロールし易い仕様に成立させることであり、燃料系においては、無負荷での安定した回転の保持と高回転、高負荷域での極短時間内の燃料噴射、さらに均一混合気を形成させるための燃料の微粒化である。また、燃料供給系の安全性に対する設計思想とシステム構成部品の高い信頼性が必要である。

ABSTRACT

The main requirement for fuel supply systems for state-of-the-art racing engines is to develop specifications allowing easier control of the high-power, high-response engine via the induction system. At the same time, the fuel system must ensure steady running of the engine under no load, fuel injection in an extremely short time period under high speed and high load conditions, and atomization of fuel in order to ensure uniform mixture. Furthermore, it is imperative that the design concept of the fuel supply system places a high priority on safety, and that the system components have a high degree of reliability.

1. ま え が き

近年のF-1の開発は、制御システムのファインコントロールが最も重要であり、高出力でレスポンスのよいエンジンを如何に制御し易いシステムにまとめていくかが大切になってくる。特に、スロットルを含めた燃料供給系はエンジン制御と密接な関係があり、60年代と比べて飛躍的な進歩を遂げた領域と言える。

1983年、われわれがF-1に復帰した最初のレースにおいて、サーキットでのセッティングの変更をECUのROM交換で対処する姿は多くの衆目の驚きであった。また、これらのシステムがホンダの内製で行われていることが、以後の戦いにおいて大きな強みとなった。

1992年のV12エンジンの吸気系仕様は、1991年の後半から採用した可変吸気管長システムの改良を行い、さらにDBW (Drive By Wire)システムを採用することで、セミATギアボックスのシフト機能を高めるとともに、エンジンのオーバーレブ制御、スロットルのパワーコントロール性自由度の改善を図った。

一方燃料系は、エンジンのショートストローク化による偏平燃焼室の改良と平行して、ミクスチャクオリティを向上させるため、ツインインジェクタの対向噴射を採用するなど対処した。

本稿では、10年の活動を振り返りながら、吸気系および燃料系についてまとめてみた。

2. 開 発 経 過

1983年からの10年間の開発は、大きく3つのステージに分けることができる。第1ステージは1983年から1984年のF-1復帰の時期で、ターボエンジンに対する規制は少なかった。この時期、F-2ベースから開発を進めたターボエンジンを基本に、吸気系、燃料系とも手さぐりの研究開発が進められていた。第2ステージは、ターボエンジンに対する規制が年々強化された1985~1988年の期間で、第1ステージの経験から新設計エンジンに変更し、出力、燃費などの性能改善のために吸気系、燃料系の改良を行った時期である。そして第3ステージは、

自然吸気 (NA) エンジンに代わり、新たにNAエンジン用の吸気系、燃料系の研究開発を展開した1988年から1992年の時期である。

3. 燃料供給システムの概要

F-1レースに復帰するために、1.5l V6ターボ過給エンジンの開発に着手した。その燃料系を開発するにあたり、当時の他社のF-1エンジンを調査し、その結果、多くは保守的な機械式インジェクション (MFI) システムを採用していることが分かった。しかしながら、制御の自由度、ファインコントロールの可能性を考慮すると、電子式インジェクション (EFI) の方がはるかにポテンシャルが高く、ホンダではEFIシステムを採用することとした。

F-1エンジンにおけるEFIの制御は、基本的にはエンジン回転数 (NE) とスロットル開度 (TH) によって燃料噴射量制御値を決定し、その値に種々の補正を加える方式とした。この手法を選択したのは、レースでは短時間の走行であり、エンジン劣化などの状態変化に追従させるより、エンジン出力のレスポンスを重視し

た結果である。Fig. 1, 2 にターボエンジンとNAエンジンのシステム図を示す。

4. 吸気系

4.1. ターボエンジン時代

4.1.1. 第1ステージ

ターボ時代のスロットル形式は、高過給圧状態でも作動荷重の変化が少なく、かつシール性の良いバタフライバルブ形式を採用した。このスロットル形式では、アイドル状態での吸入空気量の気筒間差は3%以内に抑えられた。片バンク3気筒のV6エンジンに対し、3連一体鑄造のMg材スロットルボディを採用し、空気シール性を確保するために有機剤による真空含浸を行った。スロットル軸は片バンク1本シャフトで、各気筒の同調はバルブ組み込み部の加工精度によって確保した。シャフトの材料は、ボディ材の熱膨張係数に近い材料を選択し、当初は表面処理としてテフロンコートを実施していたが、高い振動による早期磨耗が発生し、後に硬質クロム鍍金に変更された。

続く1984年は参戦2シーズン目となり、フルシーズン

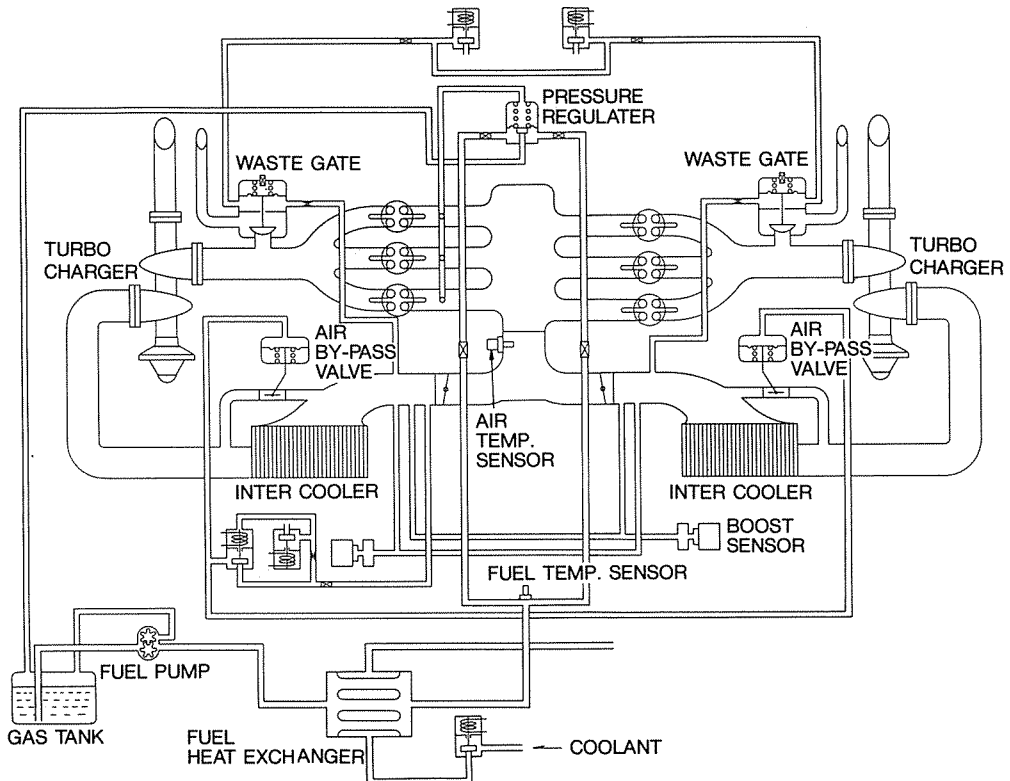


Fig.1 Diagram of Control System for Turbo-charged Engine

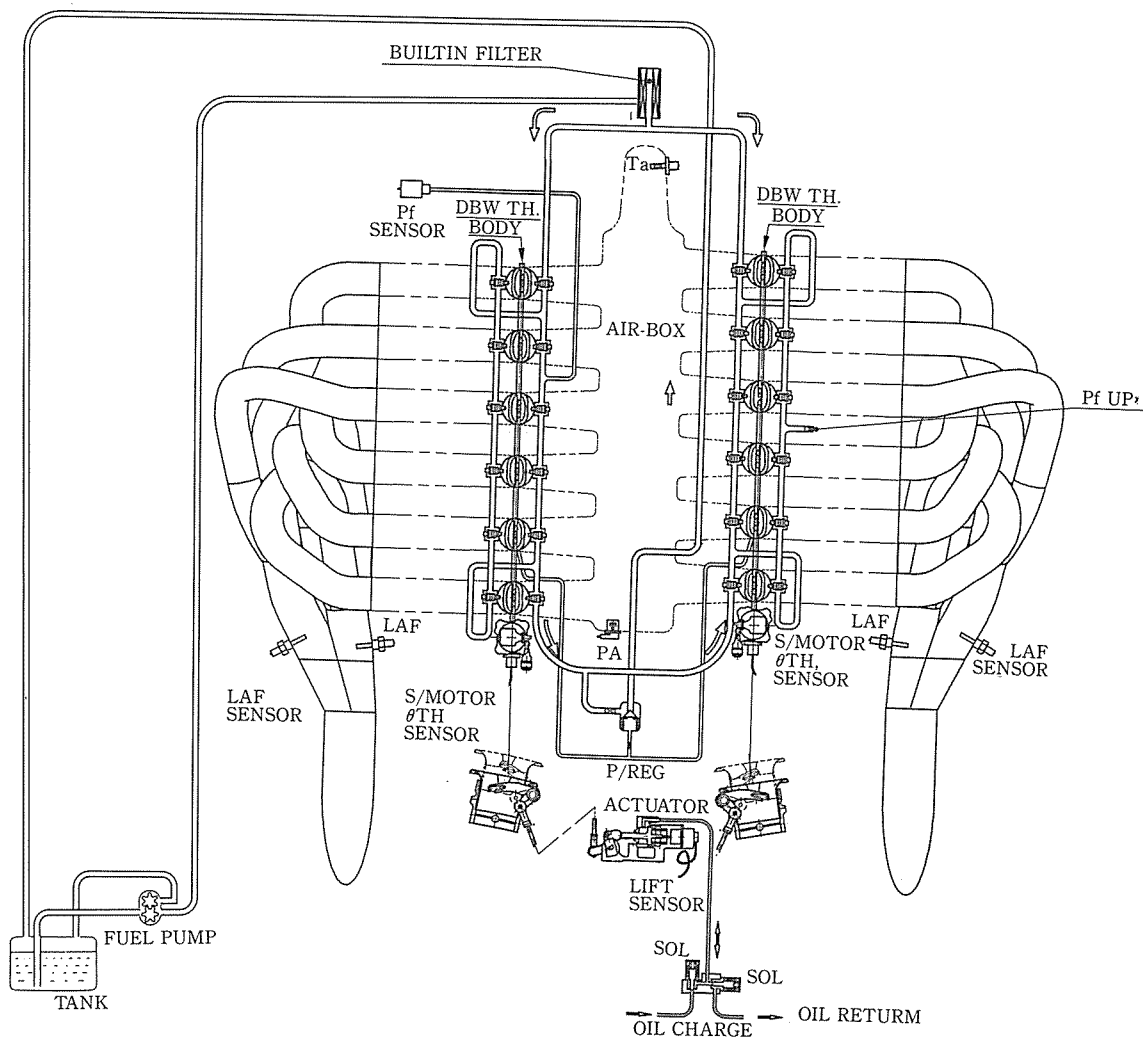


Fig.2 Diagram of Control System for NA Engine

の出場となった。この年のスロットルの基本は前年と同じ仕様のものであったが、新たにターボラグ対策の検討が盛り込まれていた。実戦で使用したのは、ターボコンプレッサの前にスロットルを追加設置し、メインスロットルと連動させてコントロールを行うシステムである。これにより、減速時に吸気ポートの負圧度を高め、コンプレッサの回転が下がらないようにして、次のスロットル踏み込み時の立ち上がり回転を上げて得られるレスポンスの向上を図った。結果的にドライバーの評価は「スムーズで乗りやすくなった」と良いものであったが、負圧によりターボ軸受部の潤滑油が吸気側に噴き出すこと、およびタービンのオーバーレブの問題が発生するため、2、3レースに使用したのみで中止した。しかしながら、初優勝した1984年のUSダラスGPでは、このシステム

が適用されていた。

4.1.2. 第2ステージ

1986年度は、燃料タンクの容量が220ℓから195ℓに変更され、燃費競争が厳しくなってきた。当然のことながらエンジンもボア・ストロークを変更するなど、出力と燃費のバランスが重要課題となっていた。燃費を改善するため、空燃比を限界まで絞り込んだ状態で行われる近年のレースは、エンジンの耐久性とドライバビリティの戦いでもある。そのためには、エンジンを運転する条件ができれば限り一定になるシステムが必要とされ、吸気温度、水温、油温、燃料温度などの温度コントロールを検討した。

この年、実戦に投入したシステムは、外気温や走行状

態、インタークーラのゴミ詰まりなどで変化し易い吸気温度コントロールシステムであった。システムはFig. 3に示すように、インタークーラにバイパス通路を設け、通過する高温空気を分流し、エンジンへ供給する吸気温度を調整する手法である。1987年を例にとると、この年過給圧は4.0barに規制されたものの、最高出力時の吸気温度はコンプレッサ出口で260℃にも上がった。この高温高圧の空気の全流量をインタークーラで熱交換すれば、約30℃まで温度を下げる事が可能であった。しかし、燃費の改善を図るため、燃料の気化性を向上させるにはもう少し高い温度の方が好ましい。そのため、インタークーラに設けられたバイパス通路のバルブを制御して、高温の空気の一部をバイパスさせて混合することにより

エンジンに吸入される空気の温度を適切に制御した。

1988年には過給圧は2.5barに制限され、更に燃料タンクは150ℓに規制された。そして、過給圧制限手法として、FISAで開発されたポップオフバルブが導入されたが、その構造上、開弁圧精度は高いものの一度開弁すると組み込まれた絞りジェットの効果で閉弁するまでにかなりの時間を必要とした。したがって、ポップオフバルブが開くと閉弁するまでの時間、エンジンは自然吸気状態となり出力は低下したままになる。ここで、このポップオフバルブの下流にスロットルがある場合、シフトアップの時にスロットルを戻すとエアチャンパ内の空気が瞬間的に上昇してポップオフバルブを開弁させる。そして、シフト完了と同時にスロットルを全開にしてもポップオフバルブはまだ閉弁されておらず、エンジン出力が得られない状態になる。従って、Fig.4に示すように、ポップオフバルブの上流にスロットルを配置するシステムを採用し、各バンクに1つスロットルを持ち、従来のマルチスロットルは廃止された。

また、1988年はマクラーレンとロータスの2チームエンジン供給体制の2年目にあたった。4人のドライバーの内、マクラーレンの2人のドライバーから低スロットル開度領域のパワーコントロールおよびスロットルペダル踏み荷重に対する要求が強く出され、2社に供給するリンク仕様は異なったものとなった。

4.2. NAエンジン時代 ～第3ステージ～

4.2.1. V10～スライドからバタフライスロットルへ

1989年、レギュレーションが変わり、F-1エンジンはターボエンジンからNAエンジンの時代に移行した。この時、スロットルの形式も見直され、エンジンの持つポンプ能力に対してスロットル全開時に最も抵抗の小さ

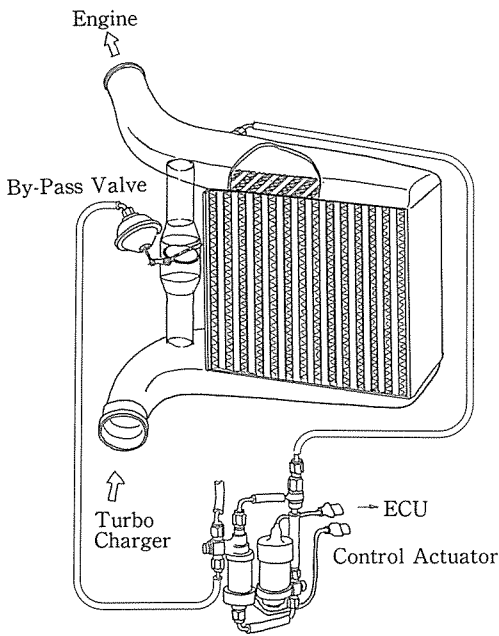


Fig. 3 Intake Air Temperature Control System

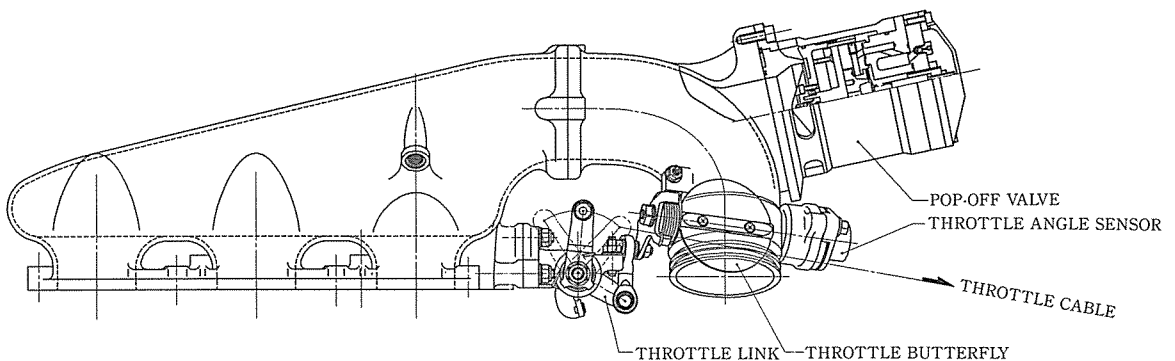


Fig. 4 Pop-off Valve and Throttle Position

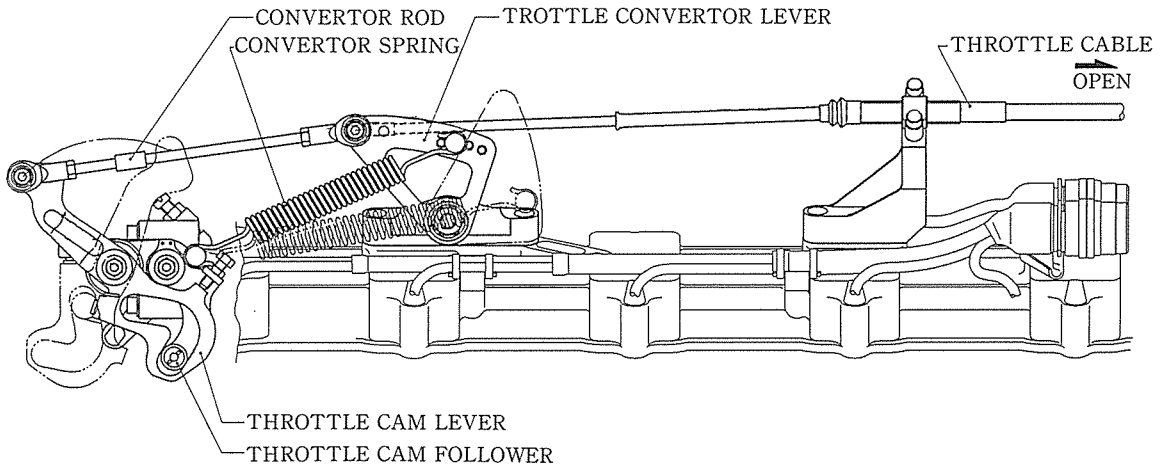


Fig. 5 Throttle Converter System

いスライドバルブ方式に変更された。基本構造は上下をニードルローラで支持されたスライドバルブを挟んで、上下2分割のMg 鋳造スロットルボディで形成されている。開発当初、このバルブはSK-5あるいはジュラ系の材料であったが、エンジン振動によりローラの転動面の磨耗が発生したため、カーボン繊維樹脂 (CFPR) に変更して対応した。

このスライドバルブ式スロットルの最大の問題点は、低开度から急に開いた場合にスロットル下流に発生する空気渦が燃料を巻き込んで、エンジンへの燃料供給が遅れてトランジェント空燃比が過薄状態になることである。このためボア中心から両開きになる方式のスロットルバルブをテストしてみたが、若干の改善が見られる程度であった。¹⁾

1990年度は空燃比安定化のために、NA レースエンジンとしては極めて稀なバタフライ式を採用することとして、トランジェント状態における希薄化の現象は全域にわたって解消された。しかし、大径のスロットルボアとなるため、ハーフスロットル以下ではエンジンのパワーコントロールが極めて難しくなった。特にバンピーなコーナを持つサーキット (例えばハンガリーやポルトガル) ではコーナリングのパワーコントロールが難しいと打ち上げられた。そのため、急遽改善が必要になり、カムとフォロワの組み合わせによる開弁特性の自由度拡大とスロットルペダル踏力の改善を行った。

Fig.5にその構造を示す。スロットルケーブルの動きに対して、カムとフォロワによって開弁特性が自由に選択できる構造になっており、かつスロットルペダルの踏力をコンバータスプリングによってリニア化している。

4.2.2. V12-可変吸気管長システムおよびDBW

1991年~1992年はV12エンジンの開発が進められた。1991年のスロットル仕様は、基本的には前年までのV10エンジンでの構造と類似のものであった。通常、V10エンジンに対してV12エンジンは、高回転、高出力ということにおいては優位性があるが、中速域でのトルク特性の面からは若干劣る傾向にある。このため、V12エンジンでは、吸気管の長さを変えてエンジンの全回転域で高い出力の得られる可変吸気管長システム (VIS) を開発した。レース用であるため、通気抵抗に影響の無い形式としてエアファンネル長を変化させる手法を用いた。

Fig.6は1992年仕様の変可変吸気管長システムを示す。エンジンの潤滑油を活用し、供給する油圧と油量をバルブで制御してアクチュエータピストンを動かかし、それをロッドを介してロッカーアームに伝え、スロットルボディに挿入摺動するエアファンネルを上下させる構造であ

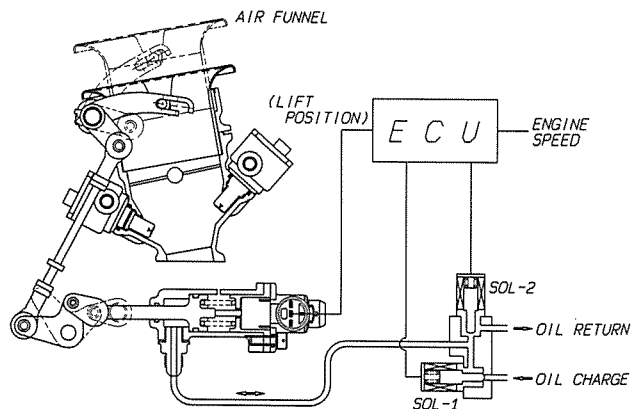


Fig. 6 Outline of VIS

る。アクチュエータの油量制御はエンジン回転数、油圧、吸気温度から2個の電磁弁で行う。1991年仕様はエンジンの回転数に対してON/OFF制御の比較的単純な作動であったが、1992年ではアクチュエータへ供給する油量を制御し、エンジン回転数に対するエアファンネル長をリニア制御した。それによりエンジン性能はFig.7に示すように包絡線的な特性を得ることができ、12気筒エンジンの高出力を確保し、かつ10気筒エンジン相当の中速域トルクを得ることができた。

また、1992年に向けて、スロットルのDBW (Drive By Wire) 化の研究が行われ、ギヤボックスのセミAT化と組み合わせて進められた。DBW開発の目的は、セミATの制御、パワーコントロール性の改善およびシフトダウン時のオーバーレブ制御、トラクションコントロールなどであった。

特に、レース用セミATギヤボックスはシンクロ機構を持たないため、短時間でかつ衝撃を伴わないシフトを行う必要があり、そのためにはエンジンの回転数制御は必要不可欠であった。セミATの要件としては以下のような項目が挙げられる。

- (1) ステアリングから手を放さずシフトチェンジが可能
- (2) シフトアップはスロットル全開状態で可能、シフトダウンはブレーキをかけたままで足によるブリッピングが不要
- (3) 自動シフトが可能

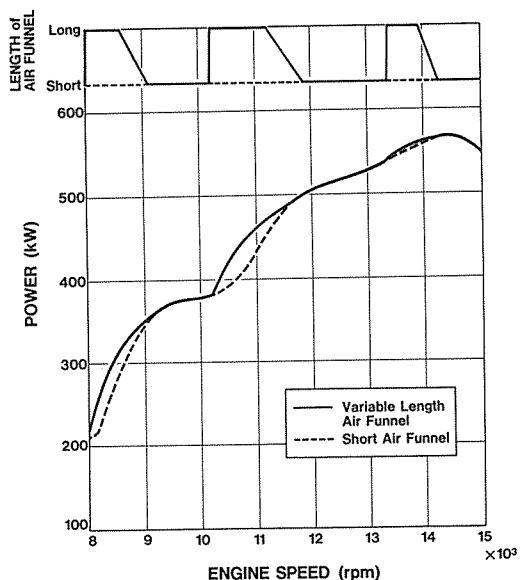


Fig. 7 VIS Output Characteristics

項目(1)のシフト変更は、ステアリングホイールに取付けられたスイッチによって行われ、左右2つのスイッチでそれぞれシフトダウン、アップが行われる。このスイッチとは別に、連続的にシフトアップまたはダウンができるシステムも備えており、これらの操作はステアリングを握ったまま指先で行うことができる。

また、項目(2)はシフトアップ時に一時的に点火系をカットし、シフトダウン時はエンジンブレーキによってギヤにかかるバックロードを解除してニュートラル位置に戻し、DBWを使ったスロットルコントロールによって回転を合わせて一段下のギヤにシフトするようにした。

項目(3)は、コンピュータにエンジンの限界回転数とギヤレシオを記憶させ、プログラムにより自動的にシフト交換を行わせた。このDBWのシステム図をFig.8に示す。スロットルは片バンクごとに2連のスロットルを3台連結して6気筒を制御する方式をとった。スロットル軸はボールまたはニードルベアリングで支持され、フリクションの低減を図っている。スロットルの駆動は、4相ハイブリッド型ステップモータを採用し、ベベルギヤを介してスロットルシャフトに力を伝達する。このモータは、NSXのトラクションコントロール用として開発された仕様の発展型であり、以下の仕様変更を行なっている。

- (1) ローターの数を2倍に増加
- (2) コイル仕様とエアギャップの最適化
- (3) 磁性材料の変更

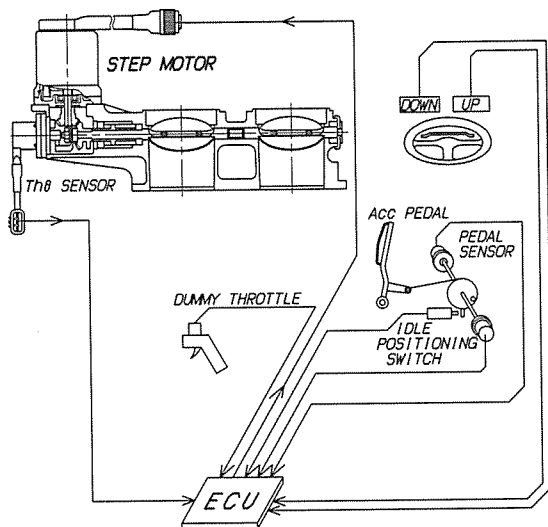


Fig. 8 Outline of DBW System

(4) 耐振性の大幅な改良

スロットル軸を駆動するための要求トルクは、実機台上テストを行って求め、最も高い要求トルクはアイドルおよび3/4スロットル開度付近で発生した。しかしながら、計測データの再現性が不足し、最終的には実走行でモータへの供給電流と脱調頻度の解析を行って判定した。その結果、1.3倍のトルク余裕力でシステムが成立した。

一方、車体のアクセルペダルは短いケーブルワイヤを使ってFig.9に構造を示すアクセルセンサとアイドルポジションスイッチで構成され、ドライバビリティ向上のため、軸廻りにはフリクションを持たせアクセルのON/OFF時にヒステリシスを設定している。

DBWのコントロールソフトは、ECUおよびGCU(ギヤボックスコントロールユニット)からTCU(スロットルコントロールユニット)に信号が入力されて制御が行われる。基本的な構成は、イニシャライズ、目標位置の算出、位置制御、脱調補正の4項目からなっており、さらにフェイルセーフソフトによりシステムが保証されている。

5. 燃料系～インジェクタと混合気形成

インジェクタの駆動ドライバはピークホールドタイプと称する方式を採用している。(Fig.10) この手法は、ニードルバルブの立ち上がり時に大きな電流を供給し、大の電磁吸引力にて開弁させ、開弁後は電流値を減少させてバルブを一定のリフト状態に保持し、閉弁時にはソレノイド部の残留磁束の小さい状態からリターンスプリングにより着座させる方式である。そして、消費電流が少ないことから、この10年間の開発を通じて使用してきた方式である。

5.1. ターボエンジン時代

5.1.1. 第1ステージ

この時代は高過給レースエンジンに対する燃料系の探索期である。当時、F-1エンジンもEFI化はあまり進んでいない状態であり、われわれも経験に乏しかった。1.5ℓ V6ターボエンジンでは、高過給で使用回転数の高い全負荷時の最大燃料流量は非常に大きな値となり、量産品をベースにしたインジェクタでは大幅な流量増加を行う必要があった。また、燃料圧力は量産とほぼ同じ値に設定していたため、燃料の微粒化は不足していた。

したがって、高回転高負荷時の良い燃焼を得るため、燃料と空気のみキシング時間がとれるように吸気バルブの上流290mmの位置に燃料噴射を行った。

1984年には、燃圧を4.0~5.0kg/cm²に上げ、燃料の微粒化の向上が得られた反面、燃料配管内の脈動が増加してインジェクタの作動不良が発生した。

このように、各気筒1本のインジェクタで制御を行うシステムでは、高回転に対応するインジェクタのダイナミックレンジを確保することは極めて難しく、高負荷時に燃料の噴射量や噴射時期の設定を合わせると、低負荷時の設定精度が得られず、また、大流量での微粒化も難しく、新しい方式の検討が必要となった。

5.1.2. 第2ステージ

1985年はエンジンの基本設計が変更され、それまでの超ショートストロークで偏平な燃焼室形状のエンジンから、シリンダボアを縮小したエンジンに変わり、燃焼室形状も改善された。

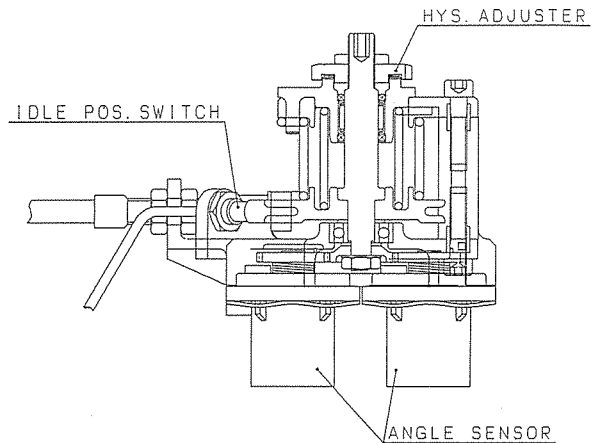


Fig. 9 Accelerator Pedal Sensor

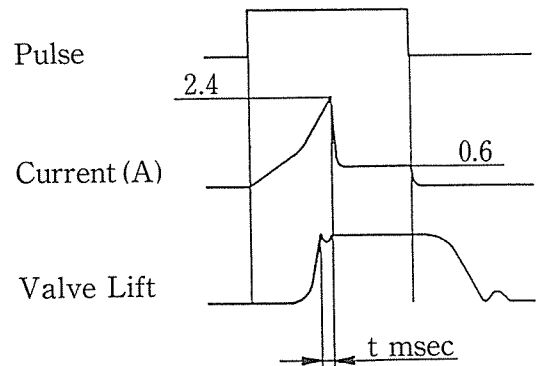


Fig. 10 Peak Hold Type Driver

インジェクタも気筒あたり2本取り付け付けたツインインジェクタシステムを導入した。基本レイアウトはFig.11に示すように、スロットルの下流に2本のインジェクタを対向させて配置した方式であり、以下の3項目とした。

- (1) ダイナミックレンジの拡大
- (2) 高圧噴射による微粒化
- (3) インジェクタ単体での噴射特性精度の確保

従来の気筒当たり1本のシステムから気筒当たり2本のシステムに変更することにより、インジェクタの設計自由度は大幅に改善された。

(1) ダイナミックレンジの拡大

インジェクタの流量特性を従来の1/2の量に変更し、かつ噴射方式をシングル噴射領域とツイン噴射領域に分けてFig.12に示すような切替え制御を行うことで、無負荷領域から高負荷領域まで適正な噴射特性を精度良く与えることができるようになった。なお、シングル/ツインの切り換え部分にはヒステリシスを持たせてスムーズな切り換えを可能にしている。

(2) 高圧噴射による微粒化

レースエンジンに求められる要件のひとつは、高速燃焼を可能にすることである。このためには、均一な混合気を形成させることが必要である。従来は、インジェクタによる霧化性能が十分に得られないため、燃焼室から290mm離れた位置にインジェクタを配置し、燃料と空気の混合時間を長くして均一化を図ったが、トランジェント状態では燃料の輸送遅れによってレスポンスの遅れが生じていた。そのため燃圧を上げて微粒化を行うとともに、インジェクタの配置もスロットルの下流として燃焼室から200mmの位置に移動した。また、対向したインジェクタの噴射スプレイ角は80~90度とし、お互いに干渉させてポート内に均一に分布するようにした。この設定は、透明ポートモデルを用いて定常流スタンドで目視設定を行った。なお、インジェクタのニードルバルブのガイド部にはヘリカル溝が設けられ、霧化性能の向上に寄与している。

(3) インジェクタ噴射特性精度の確保

インジェクタ内の力のバランスには、基本的に下記の式が成立する。

$$\text{開弁時 } F_{\text{open}} = F_{\text{mg}} - (F_{\text{pf}} + F_{\text{sp}} + R_{\text{fr}})$$

$$\text{閉弁時 } F_{\text{close}} = F_{\text{sp}} - (F_{\text{h}} + R_{\text{fr}})$$

- ここで、 F_{mg} : 電磁吸引力
- F_{h} : 電磁保持力
- F_{pf} : 燃焼による戻し圧
- F_{sp} : スプリングによる戻し力
- R_{fr} : ニードルバルブの摺動抵抗

この式において、開弁力や閉弁力が大きな値をとることが安定した作動を保証することが言える。すなわち、電磁吸引力の強化およびスプリングによる戻し力の強化

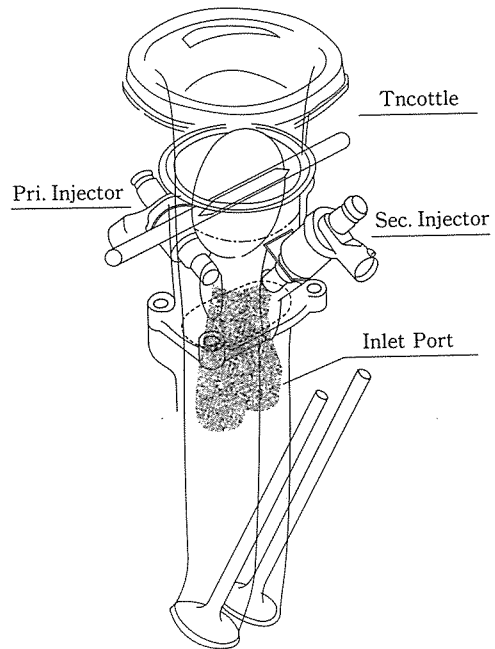


Fig. 11 Twin Injector System

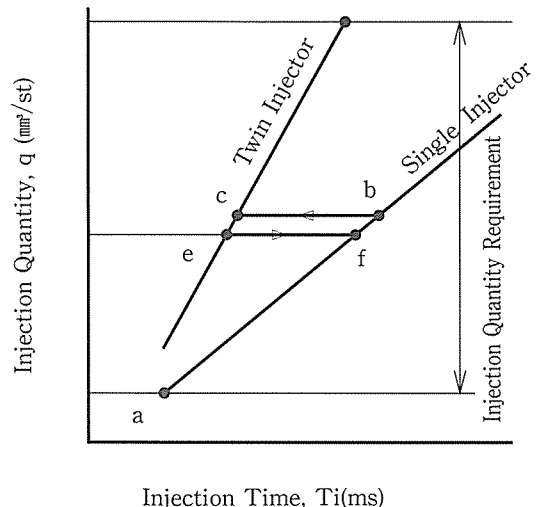


Fig. 12 Change over Control of Twin Injector

を行うことで、ニードルバルブの摺動抵抗がエンジンの運転経過とともに変化しても大きな影響を与えない仕様としている。

1987～1988年はレギュレーションの変更により過給圧および燃費がさらに厳しく制限され、そのためのエンジンの改良と共に燃料系の改良も進められた。インジェクタも燃圧をさらに上げて燃料の微粒化をはかるための改良が加えられた。噴霧の粒径測定は、He-Ne レーザー光を用いて行い、インジェクタから100mm 離れた位置での平均粒径を SMD (Sauter Mean Diameter) 表示で求めた。

$$SMD = (\text{粒子の総体積}) / (\text{粒子の総表面積})$$

測定結果を Fig.13 に示す。この結果から噴射圧を 1.2MPa 以上に上げてても粒径はあまり変わらないことが分かる。テストでは 1.8MPa まで確認したが、エンジンの性能も変わらなかったことから噴射圧の設定は 1.2MPa とした。

また、燃料の仕様は比重の大きなトルエン系が使われていたが、初留点が 90～100℃ 付近できわめて高く、気化性、燃焼性を良くするため、燃料温度コントロールシステムを開発した。このシステムは Fig.14 に示すような熱交換機を燃料ポンプの下流に設置し、ソレノイドバルブの ON/OFF によってエンジン冷却水の循環をコントロールして目標とする燃料温度に制御している。

5.2. NA エンジン時代—第 3 ステージ

NA 1 年目は、まず噴射量特性の見直しを行い、1988 年の仕様から 30% 低い値に変更した。また、燃料配管を

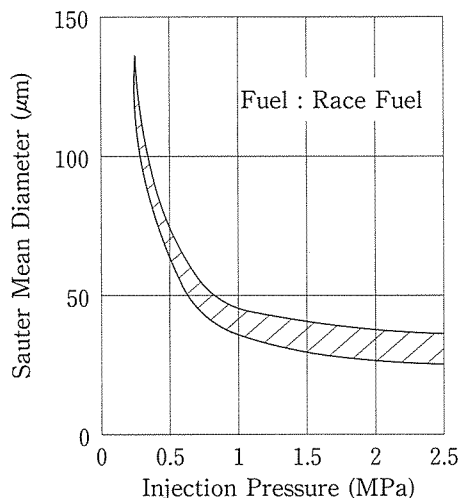


Fig. 13 Relationship between Injection Pressure and Fuel Diameter

従来のゴムホース配管から全て金属配管として安全性の向上を図った。この年の問題点は、吸気系のところで述べたように、スロットルバルブ下流での空気渦による燃料の輸送遅れで、このためにインジェクタは 2 ホール化、あるいはインジェクタ先端に取り付けた反射板による噴射の吸気バルブ直撃を行ったが、いずれも粒径が悪化して出力が低下し、レスポンスの改善は図れなかった。

また、この年は、中速からの加速レスポンスの改善のため、2 本のインジェクタそれぞれの役割を明確に分担した。即ち、プライマリインジェクタはアイドルから低中負荷を受持ち、かつ燃焼室により接近して配置できるように先端ニードルバルブを 6.5mm 長くした。セカンダリインジェクタは流量を増やし、ツイン噴射の状態で吸気バルブオープン時間での噴射はほぼ 90% に達し、出力の上でも燃費の上でも寄与できる仕様となった。

1991～1992年の V12 エンジン用インジェクタは、プライマリ、セカンダリ共にロングニードル化を行い、かつ 60度 V バンク角に伴う配管系のレイアウトの要求から燃料の供給形態がサイドフィードとなった。

また、ニードルバルブのシート径の減少と電磁ソレノイドのベストマッチングにより、完全な吸気バルブオープン時間内噴射を可能にした。一方、アイドルは 1500rpm でも運転できる流量特性が得られたが、実走時のアイドルは 2500rpm として全閉減速の運転性を保っている。

6. インジェクタの製造技術について

燃料噴射システムはエンジン性能への影響が大きいため、研究所内での開発を行った。特にインジェクタは、より高度な製造技術が必要であり、その研究は重要な課題であった。

1985年には、試作部門に安定供給体制を作り、行程表

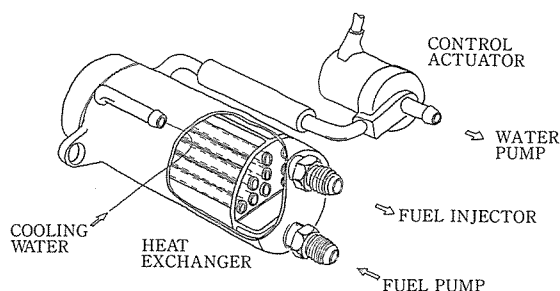


Fig. 14 Heat Exchanger for Fuel Temperature Control

の管理、データのコンピュータ処理化を実施した。また設備面を充実すると共に、管理面でも仕様変更短時間で対応出来るような流動在庫の管理手法を検討推進した。しかしながら、品質的にはシート部の燃料漏れ、噴射フォームの不安定、作動不良などの問題が発生し、また製造数に対する実用数は約40%であり、設計仕様の見直しが急がれた。

1985年は、先に述べたように気筒当たり2本のインジェクタ方式となり、設計仕様の大幅な変更ならびに高圧化と噴射フォームの広角化が実施された。

製造技術の面で高圧化による影響は、噴孔面の加工精度の向上と噴射フォームの均一化および噴射性能の保証などの対応が求められる。

噴孔面は高圧化にともないより高い精度管理が要求される。従来の研削加工またはラッピング加工による方法では、精度的にも効率的にも劣るため、異なる径の超硬ピンを数種類用意し、パニッシュツールとして噴孔部に貫通させて微拡張と面精度向上はかることで流量を目標管理幅に収める手法を採用した。

噴射フォームの均一化に関しては、まずニードルバルブの先端形状をFig.15のように150°に加工するための砥石の成形が必要である。従来はテンプレート(型板)による倣い成形を行っていたが、その手法では60°が限界であり、新しい方法として法線ドレッシング(砥石成形面に対し成形ダイヤを常に直角に制御)による成形を導入した。またガイド部は、従来4箇所平面加工を実施

していたが、高圧化に伴い平面部に沿って高速の燃料が流れ、噴射フォームに濃淡が発生し均一性が得られない。そこで、Fig.15に示す8本のヘリカル溝を設けることで解決した。ヘリカル溝の加工は、当初工具研削盤を使用していたが、後に特殊ホブ盤による加工を可能にした。

1987年以降エンジンの2チーム供給や気筒数の増加などにより、インジェクタの供給数は必然的に増加し、生産効率の見直しが行われた。また、高精度で個体差が少なく信頼性の高い部品を生産供給するために、高精度加工技術、微細バリ取り技術のノウハウを集大成して工程表に追加反映すると共に、環境を整備してインジェクタの組立部門のクリーンルーム内作業化を行った。

7. ま と め

1.5l V6ターボから3.5l V10およびV12NAエンジンまでその燃料系の開発を行ってきた結果、以下のことが確認された。

- (1) 吸気系について、従来レース用として多く使用されていたスライド式スロットルに対し、バタフライ式スロットルを採用することによって、安定した空燃比制御が全運転領域で可能となった。
- (2) 出力およびトルク特性を両立させるレース用可変吸気管長システムの成立性が確認された。
- (3) 高トルクステッピングモータの開発により、スロットルのDBW化が行われ、多機能制御が可能となった。

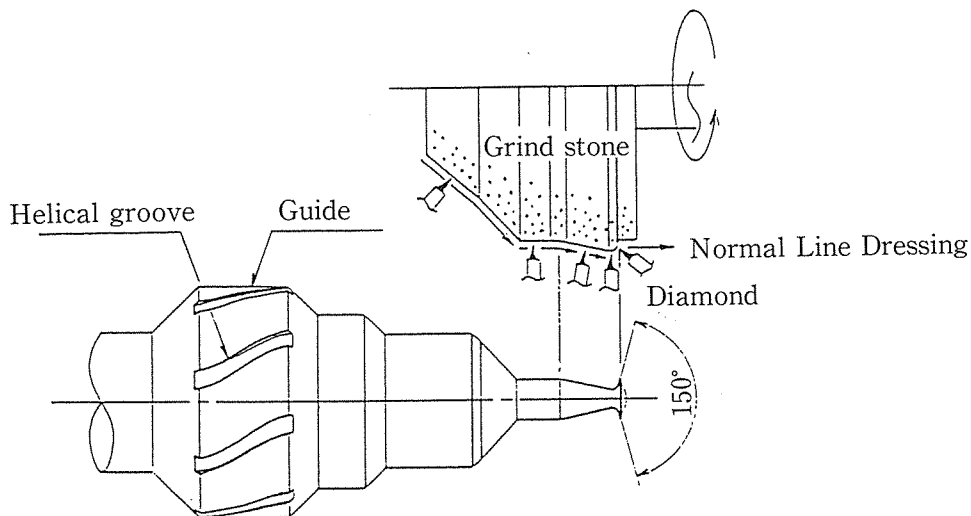


Fig. 15 Forming of the Grinder Tip Shape

- (4) 気筒当たり2本のインジェクタを採用し、流量特性のダイナミックレンジが拡大し、無負荷運転の安定性と高負荷時の短時間内噴射が可能となった。
- (5) インジェクタの噴射圧を高圧化することで、微粒化が促進され、混合気の均一化が図られ、燃焼の改善が行われた。

謝 辞

レースは知恵比べと物の追いかけて戦争である。この10年を振り返ると書ききれないほどの内容に遭遇していることに気付く。常にチャレンジングスピリットを持ち、

他車との戦闘力を比較し、われわれの技術レベルを正視評価してきた。このマインドを常に持ちつづけられたのは、われわれ研究所員のチームワーク、協力メーカー各位、またホンダエンジンを搭載した各レースチームとドライバーたちであり、ここに紙面を借りて感謝の意を表します。

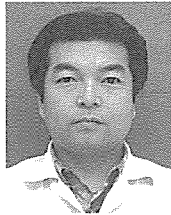
参 考 文 献

- 1) 青木、阿部、安岡、松下、一次バランサによるF-1エンジンの振動低減”、HONDA R&D Technical Review Vol.3, PP 92~98, 1991

■ 著 者 ■



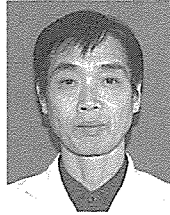
田口 英治



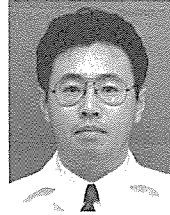
飯田 充正



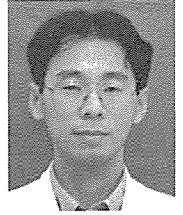
松久 一男



岩沢 勇夫



大森 敬一



江口 強