

F-1 レース信頼性

Reliability of F-1 Engine

音羽 卓*

Suguru Otowa

小林 和夫*

Kazuo Kobayashi

阿部 弘*

Hiroshi Abe

新井 竹夫*

Takeo Arai

青木 朗 雄*

Akio Aoki

我妻 栄 治*

Eiji Agatsuma

要 旨

レースエンジンに求められる要件は、突出した性能は勿論のことながら、各構成部品を含めた耐久、信頼性も非常に重要な要素である。レース活動の中で、エンジンの信頼性を確保することが、取りも直さずエンジンの性能を最大限に引き出すことにつながり、良いレース結果を残すことができる。

本稿では、自然吸気エンジンでの信頼性向上に取り組んだ内容を紹介する。

ABSTRACT

One of the requirements in a racing engine is naturally outstanding performance, but durability and reliability of all engine parts are also extremely important factors. Specifically, providing high engine reliability enables the maximum performance to be derived from the engine, and in turn leads to better results on the race track.

This paper introduces the details of the program at Honda to enhance the reliability of naturally-aspirated racing engines.

1. ま え が き

「レースエンジンの開発において重要なことは、エンジンパワーと信頼性、そして人の和である。」というチーム指針の下に信頼性確保に取り組んできた。

レースエンジンには、高回転高出力に代表される突出した性能が求められるとともに、予選、レースを戦いきるだけの耐久、信頼性が必要である。したがって、エンジンの設計から試作、テスト、レースエンジンの製作にいたるまで、各構成部品を含めた耐久、信頼性が非常に重要な要素となる。すなわち、エンジンの信頼性を確保することが、取りも直さずエンジンの性能を最大限に引き出すことにつながり、良いレース結果を残すことができるのである。

本稿では、レースエンジン開発での「信頼性向上」を目的として取り組んだ内容について、設計からレースエンジンの製作に至るまでを紹介し、レースにおける信頼性について理解いただきたいと思う。

2. 信頼性の考え方

F-1 レースエンジンの開発の流れは、基本的な考え方は量産エンジンの開発とあまり変わらない。つまり、Fig. 1 に示すようにレイアウトから始まりレースに参戦し、その結果を次のレースやテストに反映するという流れである。この流れの中で、レースエンジン開発のための独自の信頼性保証が展開される。

Fig. 2 に信頼性保証の考え方のブロック図を示す。この考え方は過去の経験と、それまでのレース開発での考え方を基本に、レース開発に即した考え方として再構築された最終的なフォーマットである。

レース活動での日程や保証レベル、あるいは生産形態といった環境が量産と異なるため、それぞれの項目に対して次に示すような考え方をしている。

2.1. 保証距離、保証時間

レースにおける信頼性保証の考え方は、最低1レース

の保証であり、エンジン始動からゴールまでを走りきる距離と時間であるが、午前中のフリー走行や再スタート等の条件、あるいはエンジンの再利用（リビルト）を考慮して実際の信頼性保証時間、距離が決められる。

2.2. 信頼性検討イベント

Fig. 1 に示したレース開発の流れの各工程ごとに、数回の信頼性検討イベントを行なっている。これら検討会はチーム内にいる各室課の開発責任者や研究所内のエキスパートが参加して催される。

2.3. メンテナンスインタバル（部品交換時期設定）

10年前のF-1 復帰当初はまったくのゼロからのスタ

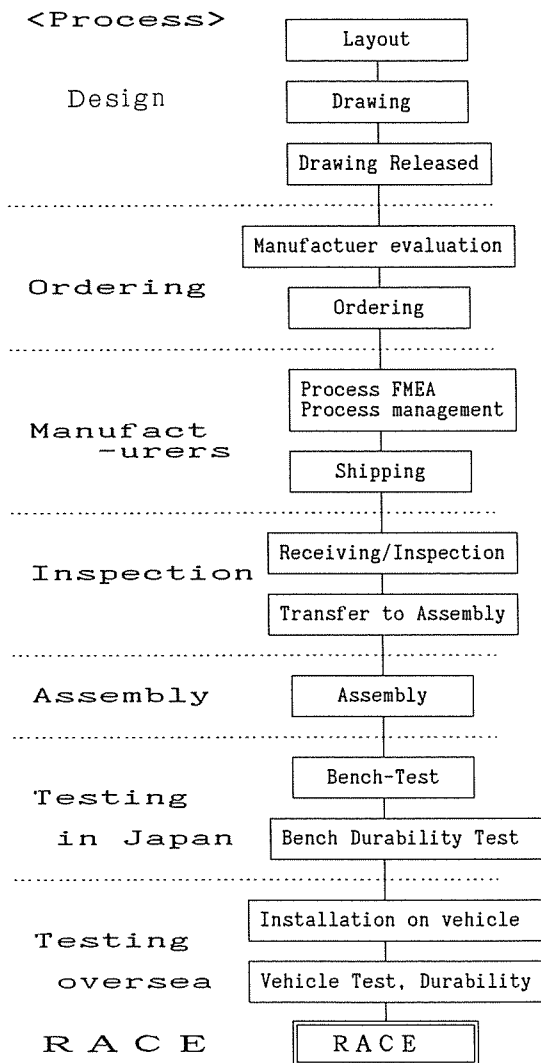


Fig. 1 F-1 Engine Development Flow

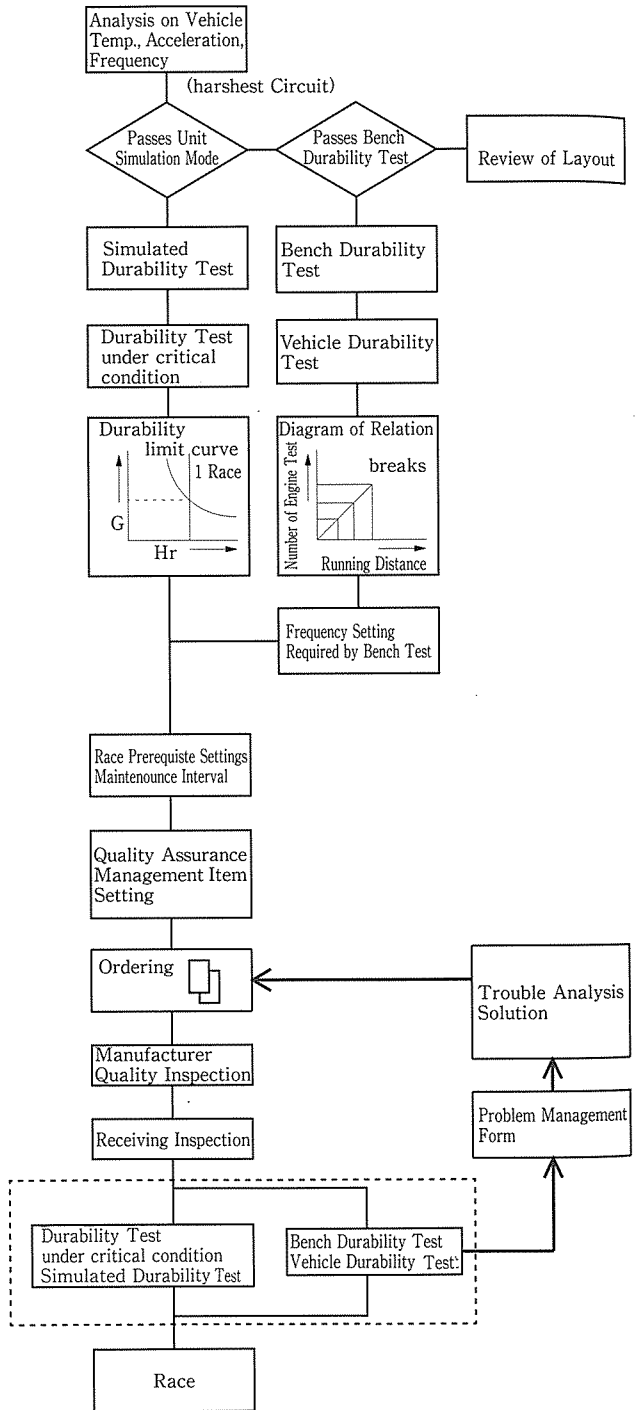


Fig. 2 Diagram of Reliability Flow

ートに近かったため、各部品の耐久性がまったく判らず、部品交換はメカニックの量産開発での経験に任されていた。レース経験を積み、実機台上耐久を重ねることにより各部品の耐用時間が明確になってくると、メンテナンスインタバルの設定が行えるようになった。この設定により全くの新人がエンジンのリビルト（組み替え）を行う場合でも勘と経験に頼ること無く、カルテを見ながら常に同じコンディションでエンジンを組み上げることが出来るようになった。

2.4. 問題点推進カード

エンジンあるいはエンジン部品の不具合は、目標が高ければ高いほど増えていくものである。この不具合を解決する場合、担当者レベルだけの解析や検討では、対応が空回りすることがある。

・何千もの部品の集合体であるエンジンにおいて、ひとつかふたつの部品を担当者レベルで一生懸命対策していると、他の部品に与える影響を忘れがちであり、対策を施した結果がエンジン全体としてはさらに悪影響を及ぼす場合がある。

・初期解析が間違っており、対策をせずに済む部品に手を入れ、不具合が直らないと更に手を入れるといった悪意循環に入り込む可能性がある。

これらの問題に対し、F-1ネットワークシステムの一環として問題点推進カード（Fig.3）によるデータベースでの不具合対策を行った。このカードの推進で重要なのは初期解析（原因推定）、暫定対応、恒久対策の全てにおいて個人での対応ではなくチーム（レースチーム、実走テストチーム、日本の開発チーム）全体で情報を共有化し、検討がなされることである。

問題点推進カードのフローをもう少し詳細に説明する。

- (1) 不具合に対する状況（問題点）と原因（一次解析）、および対策までを発生現場でのチームで検討する。
- (2) 海外テストあるいはレースでの不具合については現場の責任者クラスが打ち上げを行う。
- (3) 打ち上げに対して、日本の開発チームが不具合の詳細な解析を行い原因の特定をし、暫定および恒久対策の修正、さらに対策品の適用日程の設定を対策推進者のもとに検討する。
- (4) 開発チームの全体会議にて対策の承認を受け実施される。

これらによりひと通りのフローが終了する。

このように述べると、ひとつひとつの不具合に対して対策までの時間が非常に長く掛かるように思われるが実際の恒久対策設定は長くても一週間位である。このフローで大切なことは、前にも述べたが、各段階においてチームでの検討がなされることであり、情報がチームに行き渡り、対策後のチェックを必ず行ない、不具合に対する真の恒久対策が実施されるまで検討が続くことである。

これらのシステムはTQMの基本であるP-D-C-Aの展開であり、これにより効率のよい運営が図られた。

3. 製造品質

レース開発の特徴として、以下の3項目が上げられる。

- (1) 開発サイクルが短く、性能向上や軽量化のため、年に数回の諸元、仕様の変更が有る。
- (2) 部品は試作製法のため、複雑形状で精度が厳しく加工性の悪い特殊材が多く、かつ手仕上げ指定が多い。
- (3) 限られた資源（人、物、金）で、日程の変更は許されない。

また各部品には高回転、高出力の要求から高い負荷や振動が加わり、わずかな傷や品質の問題がレースにおい

F-1 問題点推進カード				得	打者	製造者
項目				エンジン	S A B	管理NO
発生状況	日付	場所	状況	(km. hr)		
問題点 ↓ 原因 ↓ 暫定対策 ↓ 恒久対策 ↓ 適用計画	問題点					
	原因					
	暫定対策					
	恒久対策					
	適用計画					
(略図 他)						

Table3 Problem Management Form

ては致命傷となり得る。

このような開発の特徴と、部品への高い性能要求があることから、レース用部品の製造品質管理は非常に重要である。

実際に品質管理を進めるに当たっては、前述のレース開発の特性から全部品を管理していくのは大変難しく、次に示す2つの観点から重要管理部品を決めて、図面上での検討と製造工程での製造品質の検討を行ってきた。

- (1) 機能的に重要な部品、言い換えるとこの部品が壊れるとレースが続けられなくなるようなもの。
- (2) 過去に品質不良が多発した部品。

3.1. 図面・加工検討会

各分野のエキスパートにより、新規図面において部品の製法上の問題、製造効率、信頼性向上への展開、軽量化への展開が検討される。

この時点で、テストピース試作による先行検討が必要と判断された場合は、先行確認の項目と内容（例えばテストピースの形状やテスト条件）や日程等の詳細計画まで立案する。

量産開発での検討会と大きく異なるのは、図面の公差の厳しい部品が多いため下記のような特徴をもつ。

- (1) 部品機能や部品耐久性が優先される
- (2) 検討は試作の可能性が主体になる
- (3) 完成品検査方法の概略の検討も行う

3.2. 製造工程品質管理

図面が検証され出図されると、部品毎に社内又は協力メーカーへの発注が行われる。その際に各製造工程における「加工管理項目」及び「品質管理項目」を明確にした「工程品質管理表」を承認事項の一部として提出してもらい、これをベースに品質活動を展開する。この管理表には類似部品の過去のトラブルなどから要管理項目となっている内容が反映されている。この「工程品質管理表」は、現場の担当者が内容を見て作業のポイントを理解し、現場からの品質管理を行うのが目的であり、「製造現場確認」が必要となる。この実施は、初めて作る物について第一回目をを行い、その後は適時行ってきた。

現場確認を実際に行ってみると、多くの場合、担当者が部品の機能を理解しておらず、「工程品質管理表」が生かされていないことがあった。そのため、「製造現場確認」時に部品機能、必要部品精度を担当者に説明し、

「工程品質管理表」の内容を理解して貰うとともに、逆に製造現場からの意見も吸い上げて、図面への反映など改善を図ってきた。

レース部品では、手仕上げで物を作る工程が多くある。品質を安定させるためには、これらの作業の機械化、あるいは標準化が重要であり、製造工程品質管理の活動の一環となる。

また、溶接部品、鋳造素材、圧入部品などの完成状態で品質管理が難しい部品では、工程中での精度の詰めやテストピースによる管理項目設定テストの計画を現場で行い、「工程品質管理表」に生かすことも「製造現場確認」での重要な作業である。

3.3. 検査体制

設計変更が多く、かつ数千点におよぶ部品の全品全箇所での検査は困難である。そのために前述の「重要管理部品」の設定や、「工程品質管理表」と「製造現場確認」により製造現場のレベル向上を図ってきたが、さらに、「受入重要管理項目」を設定して、より効率良く確実な検査を行える体制の確立を図ってきた。

4. 実機台上耐久、実走テスト

レースエンジン開発において、最もレース現場に近く、エンジン仕様設定の最終確認となるのが台上および実走耐久である。

耐久に対する基本的な考えかたはエンジンが1レース中にその性能を最大限に引き出しながら、かつ壊れない事を確認することにある。実際のレース開発では確認だけではなく、解析、仕様設定を耐久を通して行う場合が多々ある。

耐久の場で解析、仕様設定を行う理由として次の2点が特に上げられる。

- (1) 実車の環境が部品単体テストではシミュレート出来ない場合がある。
- (2) 耐久に要する時間が非常に短いため、部品が壊れる壊れないの判断だけなら部品単体テスト解析より結論が早い場合がある。

従って、精度の高い台上耐久を行えるようになると、いきおい台上耐久に頼る場面が増えてくる。

しかしながら台上耐久に頼ると、不具合対策が場当たり的になるので、極力単体テストあるいは応力測定等の限界値の確認テストを先行させるように配慮した。

4.1. 耐久モード設定

台上耐久でのモード（条件）設定は、実際のレースに対して厳しすぎると部品の過剰品質を招き、甘すぎるとレース中のエンジン破損につながる可能性が大きい。それ故にモード設定の精度を上げることが重要になる。

耐久モード設定については、当初、16戦全部のサーキットについてモード設定を行い、その結果各サーキットのエンジンに与える負荷が明確になった。実際には各サーキット毎に全部品の仕様を変えるわけではないので、16戦全部のサーキット毎のモード設定を行う必要は無いとの結論を得た。その後の開発ではいくつかの代表的なサーキットモードを主体に耐久を進めてきた。

実際のモード作成の基準は以下の2点に置いた。

- (1) 実走テストの平均ラップタイム、または搭載燃料量がハーフタンク時のベストタイムを基準にする。
- (2) 事前に走行出来ないサーキットが有る場合は、前年度レース時の平均ラップタイムより予測されるその年の平均ラップタイムを基準にする。

これを基に、台上耐久条件として、以下の7点を仮定してモードの作成を行った。

- ①エンジン回転頻度
- ②WOT（スロットル全開）頻度
- ③トップギアでの全開保持時間
- ④吸排気バルブスプリングの荷重頻度
- ⑤エンジン回転数の最大値、最小値
- ⑥ストレート、シケイン等のギアシフトを考慮したエンジン回転と負荷
- ⑦油温、水温

サーキットによっては、ポールホーゾンを取るとレース展開が非常に有利になる場所がある（例えばモナコなど）。これらのレースにおいては、予選専用エンジン（軽量化、低フリクション、高回転化）を用意したが、この時は前述のレースモードとは別に、予選専用のモード設定を行った。

4.2. 実車実走テスト

台上耐久では極力レースに近い条件で各部の評価と確を行ってきたが、吸・排気系、電装系の十分な信頼性保証までは出来ない。

台上耐久はエンジンがベンチにしっかりと固定されてをり、かつブロウにより冷却されるために、エンジン周囲の吸・排気系、電装系、燃料系の部品（いわゆる補機）

の振動と熱の環境がかなり異なる。Fig. 4 に台上エンジン、実車無負荷状態と実走での振動データを示すが、振動レベルがそれぞれで異なるのが理解できると思う。特に、振動の問題はエンジンの軽量化、高回転化を図って設計変更を行うと、計測からやり直しになる場合が多く、非常にやっかいな問題であった。また、熱害の問題も同様にやっかいで、車体性能を維持しつつ、エンジン周辺の冷却を確実にを行うためには、実走行テストでの確認が重要である。

5. 実車計測システム

実車振動は振動レベルが高いだけでなく、量産開発レベルの測定器で計測しようとすると、振動や熱の影響を受けない設置場所を確保する必要があり、ボディの大幅な改修、あるいは新作を必要とする場合が多い。

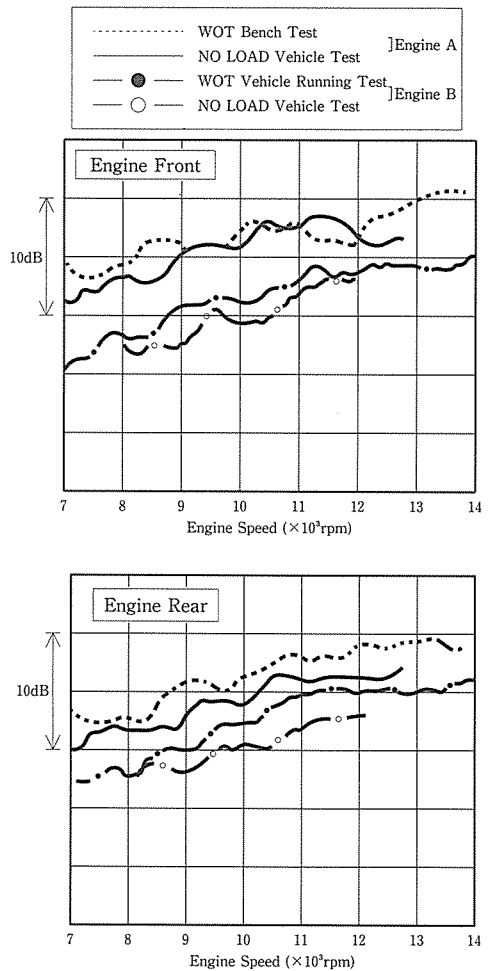


Fig. 4 Comparison of Vibration between Engine Test and Vehicle Test

Fig. 5 に実車振動計測システムを示す。エンジンコントロールシステムの大容量化と並行して計測システムの開発を行い、旧来のテープレコーダタイプのデータ収集システムよりコンパクトでかつ精度の高い計測を行えるようになった。

ハード+ソフトによって構成される制御仕様に於いて、全てのハード（センサ、ユニット）に対して性能を保証するためには、レースカーといえども開発にかかる時間が膨大になる。しかしながらレースの世界では開発スピードが勝敗を左右するため、個々の部品の性能を追求する時間に制限がある。

また実車搭載時のL/Oからも熱・振動に対する過剰対応は、重量の増加あるいは形状の大型化を招くためにレースへの適用は不向きである。

そこで部品の単体保証を短時間でを行うため、コスト高とはなるが、市販品をベースとして材質の純度向上、パーツの機能や容量を上げた品物への変更により対応を図った。しかしながら、トラブルをゼロにすることは不可能であった。

フェイルセーフあるいはフォールトトレラントはこうした状況下で、部品の単体保証の方法および制御仕様の見直しという形で導入された。

電装フェイルセーフの考え方は、基本的に1レースのスタートからゴールまでを保証し部品故障によるリタイアを防ぐことを目的とし、プログラムまたは仕様で対応

不可能なものに対応可能なものに大別して推進することにした。以下に考え方の基本を示す。

1) 対応不可能なもの

- ・部品保証時間を単体テストから割り出し、メンテナンスインターバルを決める。
- ・電源投入時にユニット初期値あるいはセンサ値をモニタ可能にし、実走前に不具合に対する対応が可能となるようにする。
- ・エンジンがコントロール不能に陥るセンサについては、複数個のセンサを装着する。
- ・問題発生原因を短時間で知ることができるシステムを構築する。

2) 対応可能なもの

- ・フェイルセーフ、フォールトトレラントの判断仕様とアクションの決定を行う。
- ・プログラム仕様追加、変更時は導入によるメリットとデメリットをレースチーム全体で充分検討してから開発を行う。

以上の考え方を基本に、電装品の信頼性向上を図った。

6. ま と め

F-1 に再参戦して10年間、最初は手探りの状態で行い取り組んできた信頼性であるが、経験から出発した「信頼性向上」の施策は、まとめてみるとTQM的手法を駆使して進んできている。ここに示した施策は、発生問題点に対する確実な対応と、問題点の早期発見を行おうとするシステムおよびフェイルセーフの考え方であった。以上のような考え方を基本に、エンジン性能を高いレベルに引き上げる開発と、信頼性を保証する作業は並行して行われ、最終的にレースエンジンとして完成される。

謝 辞

最後にこの場を借りて、数々のご努力をいただいたメーカーの皆様と、ご助言ご協力いただいた社内の皆様、そして温かいご支援をいただいた方々にお礼を申し上げます。

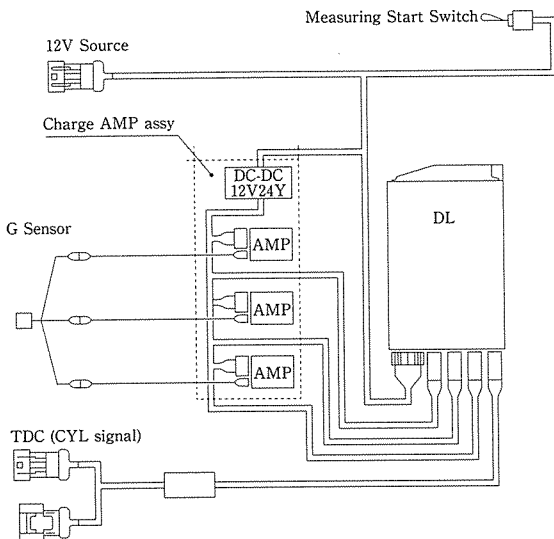


Fig. 5 Vehicle Vibration Measurement System

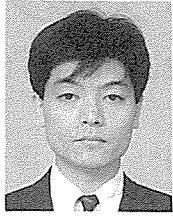
■著者■



音羽 卓



阿部 弘



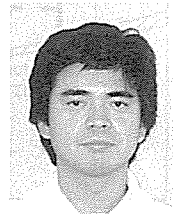
青木 朗雄



小林 和夫



新井 竹夫



我妻 栄治