

F-1 エンジン用排気系の開発

Development of Exhaust System for F-1 Engine

安藤 和夫* 上田 孝治* 高橋 龍一*
Kazuo Ando Koji Ueda Ryuichi Takahashi
中島 嘉寿夫* 山上 武* 福島 保秀*
Kazuo Nakajima Takeshi Yamagami Yasuhide Fukushima

要 旨

エンジンの性能は、排気系の諸元によっても大きな影響を受ける。そのため、排気系の仕様選択は重要である。F-1 エンジン排気系のターボ時代は、熱害に対する技術開発の時代であり、NAエンジンの時代は、レイアウトと作りの技術革新の時代であった。

ここでは、F-1 エンジン用の排気系について、ターボ過給時代とNA時代に分けてその取組みを紹介する。

ABSTRACT

The specifications of the exhaust system has an impact on the performance of the engine. The selection of its specifications is thus critical.

When it was coupled with the turbo engine, it had to be designed into provide thermal resistance; when the engine was shifted to NA, a challenge was made to meet the layout and engineering requirements.

This report provides an account of how those requirements were met.

1. ま え が き

エンジンの出力は、吸排気系の諸元によっても脈動効果や排気圧力（排圧）などの影響を受けて変化する。これはF-1 エンジンにおいても同様であり、排気系諸元の選定はエンジン仕様を決定する上での重要な項目のひとつである。

一般に排気系と言うと排気マニホールド（エキマニ）、排気管、マフラなどの部品に分けて考えられるが、F-1 エンジンではこれらを一体として取り扱っており、エキマニを含めた総称として排気系、あるいは単に排気管（エキパイ）と総称している。

F-1 に参戦した当初は、ターボ過給による高回転高出力エンジンであるがために、高温熱害によるエンジントラブルが多く発生し、大変苦勞した時代であった。特に排気系において熱害の問題が大きく、材質、形状、製造手法と広範囲にわたる検討、対応を必要とされた。

また、1989年以降の自然吸気（NA）エンジンの時代では、吸排気の慣性効果によるエンジン性能からの要求もあり、排気管諸元の選定、レイアウトなど多くの課題

を満足させなければならなかった。

本稿では、F-1 エンジン用の排気系について、ターボ過給時代とNA時代に分けて、その取組みを紹介する。

2. ターボ過給エンジンの排気系

ターボ過給エンジンの時代の問題は、ひとつは高温熱害によるトラブルへの対応であったと言える。ピストンやガスケットといったエンジンそのものに関する部品諸元とともに、高温による影響を強く受けた部品に排気系部品がある。

2.1. 排気管の製作開始

当初の排気系はイギリスの車体チーム（ウィリアムズ）で製作していたが、日本における台上（ベンチ）テストでの排気系キャリブレーションがやり難いこと、またベンチテストと実車走行テストの間の相関がなかなかとれないといった問題があった。そこで、排気管も日本で製作することを検討し試作を行った。

試作の排気管は約1ヵ月で完成させ、テストの結果も

ウィリアムズ製のものと差のないことが確認された。その後、メーカーさんの協力も得て供給体制を強化し、排気管は日本で製作、安定供給ができるようになった。

1984年、エンジンは出力を上げ、耐久性の要求も高まってきた。排気系に対してはターボチャージャ（TC）効率向上の検討、熱害対策などの開発業務も必要となってきた。TC効率向上のためには、3気筒集合のショートエキパイ（排気管）の検討や集合部の入射角、パイプ径、長さなどの諸元見直しを行い、案別に試作してテストを繰り返し行った。また、熱害対策に対しても材質の変更や製造方法の検討を行ったが、エンジン性能が良くなればその分、排気温度も1000℃を越える温度になって出力アップと熱害の両面に苦慮させられた。さらに、エキパイの製作もレイアウトから完成までは2週間は必要であり、作ってはテストする繰り返しであった。

2.2. 熱害への対応

1985年、エンジンはさらにパワーアップし、それに伴って排気温度も1050℃に達してきた。取り合えず板厚を厚くするなどの対応で走行距離500kmまでは保証できたが、それ以上になると溶接部にクラックが発生してしまった。このクラックは、溶接時の入熱が大きくなると、組織が粗大化し脆性が低下することに起因していた。そのため、排気管の材質を低炭素合金鋼に変更すると共に、溶接手法の見直しを行った。

従来溶接時のシールドガスとしては不活性ガスであるアルゴン（Ar）の100%ガスを用いていたが、低電流域での溶接を実現するために、電圧促進効果がありさらに酸化防止効果の期待できる水素（H₂）を5%混合したガスを用いることとした。これにより、溶接アーク柱に電圧促進効果が確認され、低電圧域の溶接が可能となり、入熱を小さく抑えることによって組織の粗大化による脆性の低下を防止できた。この結果、耐熱強度は飛躍的に向上し、走行保証距離を従来の2倍に延ばすことができた。

2.3. 排気系の改善

1986年の排気系は、排気性能の改善と軽量化を目標に開発が進められた。そのため、シリンダヘッドの排気ポート角度を見直し、さらにTC取付け位置を左右対称にして、パイプ管長を70mm短くし、重量で1.4kgの軽量化がはかられた。

また、TC取付け位置を左右対称にしたことにより排

気の流れやエネルギー効率が左右同一となって、集合部の入射角を見直したことと合わせて、排気干渉を低減することに効果があった。

さらに、レースシーズン中においても、TCのウェストゲート位置を変えることによって、過給圧のコントロール性を向上させた。

これらの対策はレースシーズンを通して検討テストが繰り返され、より性能の良い、壊れない排気系を供給することで、良いレース結果に結びついていった。

2.4. 作業効率の改善

1987年と1988年はエンジンを2チームに供給する体制がとられたことに伴い、排気系の供給もいかに効率良く、2チームに対応できる量を製作するかが課題となった。そのため、排気系製作の作業効率を上げることと、生産供給体制の充実が必要であった。

作業効率の改善手法としては、半自動溶接の導入、パイプ摺り合わせ角のレーザーカットの実施、スライス切削などの製作手法の改善に取組み、1台当たりの製作時間を従来の90時間から55時間に、さらに1988年には40時間に短縮するとともに、各製品の品質を安定化させ、信頼性の高いものにした。

また、それまでベンチ用排気系の製作をお願いしていたメーカーさんにも実走用排気系の製作をお願いし、短時間で信頼性のある製作技術を習得していただき、ある程度の量を生産できる体制を整えた。

こういった中、1987年のモナコGPにおいて、排気系の溶接不良によるウェストゲートの脱落が発生し、改めて信頼性確保の難しさを痛感させられた。そういったことを教訓としてさらに製作上の改善を加えて、信頼性の高い、軽量コンパクトな高性能排気系を完成させた。（Fig.1）

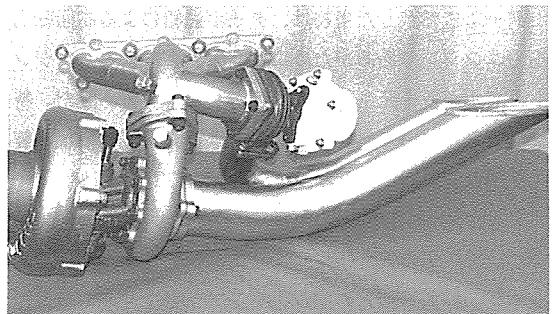


Fig. 1 Exhaust System for RA168E Turbo-charged Engine

そして、その仕様も、コース別に高速用、低中速用と使い分けることができるまでになった。

3. NAエンジンの排気系

3.1. V10排気系への取組

1989年からレギュレーションの変更により、ホンダはV10NAエンジンを採用した。それに伴い、排気系もNAエンジン用の開発に取り組むこととなった。

NAエンジンの場合、TCによって強制的に空気を押し込むタイプとは異なり、吸排気系の脈動効果を利用してエンジンに空気を送り込まねばならない。つまり、NAエンジンにとって排気系諸元の選定は、過給エンジンの場合とは異なる重要性がある。

V10NAエンジンの排気管は、TC時代の2倍以上の長さが要求された。したがって、排気系のレイアウトは常に車体のカウルラインを気にして行わなければならない。空力性能改善のため、カウルラインが設計変更されれば、一からやり直しという場合もあった。

エキパイの製作手法もTC時代とは大きく変わり、当初はフレキシブルパイプで車体上のレイアウトを確認した後、長いパイプに砂を詰めガスバーナで加熱して曲げる手法でプライマリ部を作り上げた。そして、さらにフランジなどはハンド溶接で仕上げられるため、左右1セットのエキパイの製作時間は300時間も要し、レースに対応するにはあまりにも時間がかかりすぎた。したがってNAエンジン用排気系の製作では、作りの効率改善が最優先の課題となったが、これまでのレース経験から供給限界を100時間以下とするならば、これは改良・改善の範疇でできるものではなかった。

そこで、排気系作製の手法を根本から見直し、新しい作りの技術開発、作りの近代化というテーマで、以下に示すような3つの施策を同時に展開した。

(1) レイアウト (L/O) 作業の近代化

ベンチテストや実走テストによって性能が確認された排気系諸元や車体L/Oからくる制約を、車体デザイン数値化システムを利用して数値化して、図面化展開を行った。これにより、3次元の曲げ角、管長が容易に数値化され、それに基づいた図面作成(2次元化)が可能となり、その結果、品質の安定したエキパイを短い時間で製作する基盤を確立することができた。

(2) パイプ曲げの近代化

諸元が図面化されたことにより、曲げ図面に基づい

た機械曲げが可能となり、従来の砂曲げに比べて、加工スピードと精度が大幅に向上した。

(3) 溶接の近代化

従来はエキスパートのハンド溶接によって行っていた管と管、管とフランジの溶接を、モータを使用した半自動溶接に置き換え、特別なエキスパートでなくても高い品質の溶接が短時間でできるようにした。

これらの施策により、V10用排気系の製作時間は100時間を切り、最終的には56時間にまで短縮され、大幅な作業効率の向上が図られた。

3.2. V10排気系の改良

1990年には、排気系の信頼性向上と戦闘力(性能)のアップが求められた。そのため、車体の空力性能を上げるために絞り込まれたカウルライン内で、エキパイのショート化、軽量化を含めた難しいL/Oに取り組まねばならなかった。この時のL/Oは、1番ポートを中心に、他の気筒のプライマリ部を巻き込むようなデザインで、集合部をできるだけエンジンに寄せたコンパクトな形状とした。(Fig. 2) この結果、排気系を含めたエンジン全体は、カウルラインの中に収まり、管長も30mm短く、700gの軽量化もはかられた。

その後、さらに軽量化をはかるため、テールパイプ部の材質をチタンに変更した。

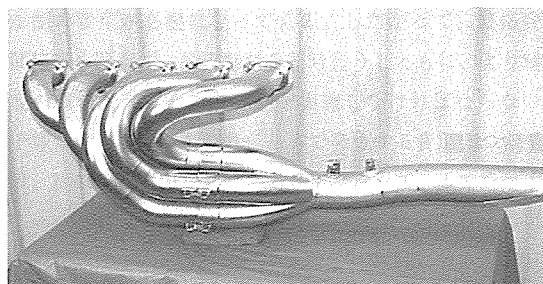


Fig. 2 Exhaust System for RA100E Engine

3.3. V12排気系とりサイクル

1991年からエンジンはV12に変更された。V12エンジンの排気系についてはV10エンジンのものとほぼ同一線上にあり、空力向上のためのコンパクト化や軽量化がさらに推し進められ、1992年を例にとると、GPの間を縫って14種類ものタイプの異なるエキパイを試作し投入した。

こうした頻繁な設計変更により、1990年の実績では、製作したエキパイの30%を超える量が未使用であった。この無駄を省くため、1991年からはエキパイのリサイクルを検討実施することとした。リサイクルを考え、エキパイをプライマリ、コレクタ、テールと3つの部分に分割した構造をとることにしたが、この構造は同時に、GPの予選とレースの仕様分けとして、耐久性/軽量化の使い分けを容易にする効果をもたらした。(Fig. 3) さらに、再使用した場合の保証距離を、明確にするため、ラングレー基地に要員を派遣してレース状況を把握し、それに対応する適切な処理を行ってベンチテストへ投入できるようにした。この結果、製作されるエキパイはほとんど無駄なく使用されるようになり、プロジェクト全体での費用削減にも寄与した。

4. あとがき

1992年、F-1活動の中止に伴い、エンジンとともに休むことなく変遷してきた排気系の開発も、その10年の区切りをつけることとなった。この10年、排気系の作りの技術は大きく進歩し、近代化していくことによってF-1レースにおける性能と信頼性の向上がはかれ、良いレース結果へと結びついていくてくれた。

ここでは、排気系部品について解説したが、その他にも次のような部品の開発も同時に行われていた。

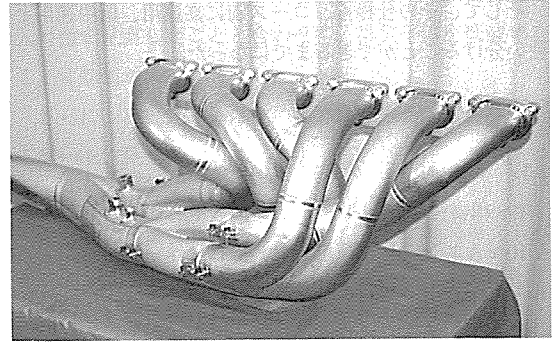
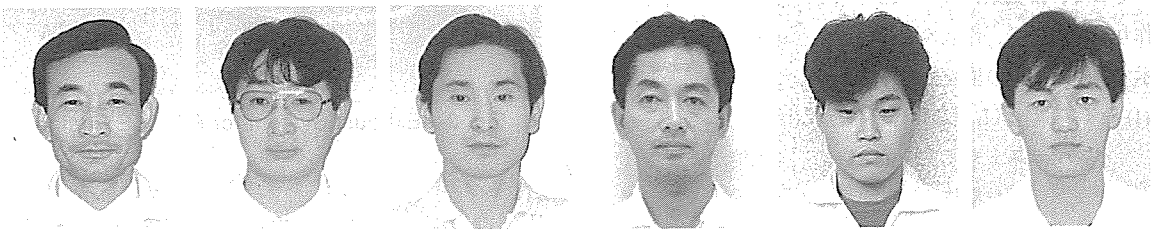


Fig. 3 3-Section Exhaust System for RA122E

- (1) 1989年；パッフルプレート（エンジン部品）をカーボン繊維により成形し、60%の軽量化を行った。
- (2) 1990年；可変速溶接装置の開発により、アルミパイプの半自動溶接が可能になり、デリバリパイプの精度、品質向上がはかられた。
- (3) 1991年；ハーネスカバー、ACGカバー、フェエルポンプカバーなどの部品をカーボン繊維による成形で軽量化した。

こういった技術開発は、レースを通じて養われ、進化していったものである。そして、排気系を含め、これら部品の開発に用いられた製作上の手法やシステム、体制は、今後もホンダの中の技術として受け継がれ、生かされて行くものと確信している。

■ 著 者 ■



安藤 和 夫 上 田 孝 治 高 橋 龍 一 中 島 嘉 寿 夫 山 上 武 福 島 保 秀