

F-1・造りの技術

Formula One・Prototype Engineering

荻 島 勇*

Isamu Ogishima

光 内 薫*

Kaoru Mituuchi

森 永 明 夫*

Akio Morinaga

阿 部 繁 雄*

Shigeo Abe

要 旨

F-1エンジンは、単に数量を造って供給することだけでなく、日々進化する技術に対しての造りの新技術対応が必要であった。

本稿では、F-1エンジンの供給を支えた造りの技術について、各分野で取り組んだ技術の開発経過とその概要を紹介する。

ABSTRACT

The F-1 workshop is required not only to make and provide a quantity of engines but to try and apply new engineering technologies.

This report presents such technologies and describes the process of developing them.

1. ま え が き

私たちは、この10年間F-1エンジンの供給母体としてシリンダヘッド、ブロック、クランクなど主要部品の製作にあたってきた。

このF-1エンジンは、単に数量を作ることだけでなく、日々新しい仕様の折り込みとそれに対する時間的速さの追求、新しい機能部品に対する製作方法の考案、信頼性の向上技術など、常に造りの技術対応が必要であり各分野で取り組んできた。

本稿では、F-1エンジン開発の造りの技術について、その経過と対応について概要を紹介する。

2. F-2からF-1の時代へ

1983年、F-1復帰に先立ち、数年前からF-2のエンジン造りを手掛けていた。

F-2は、研究開発や量産開発の余力で造ることを基本とした地味な展開であったが、課題は多く、それぞれの課題について検討が進められていた。

例えば、カム、ロッカーアームの当たり面に初期かじ

りが多発していて、なかなか原因が掴めなかった。調査を進めていくと、ロッカーアームのメッキ厚さのバラツキが原因であることが判り、治具などの改良によって対策を行った。また、カム面もNC制御で加工するようになっていたものの、制御が粗く、カム面にギザギザの加工痕が残っており手研ぎで修正をしていた。

軽量化の要求も高く、中空の排気バルブを造る研究も進めていた。当初は、孔加工の曲がりによる偏肉、メクラ栓溶接の際のクラック発生などで適用できなかったが、加工法の工夫、材料の組み合わせ選択などにより1983年には供給できるようになった。

その他、ピストンの二硫化モリブデンコーティング、チタン製コネクティングロッドの造りなど、F-2の後半には個々の造りの技術が少しずつ進んでいた。

初期のF-1エンジンでは、これらの技術を応用することができたので、造る上での新たな課題は比較的少なくスムーズに立ち上がることができた。むしろこの時期は、一般市販車の開発も急ピッチで進められており、それらを含んだ供給体制を確立することが急務となってい

たため、加工区を中心とした能力の拡充を急いだ。1984～1985年になると、エンジンのバージョンアップや供給量の増加から、さらに体制を強化することが必要になった。

近代F-1は、信頼性の高いエンジンをいかに速く、しかも大量に供給できるかが大きな課題であった。まずシリンダヘッド、ブロックなどの主要部品は社内で、ピストン、コンロッドなどの小物部品は専門メーカーで製作を分担することとした。また、時を同じくして、栃木研究所への拡大も行っていたので、双方連携してレーシングスピリットを共有する形で進めた。

1シーズン16戦、1レース当たり10台前後、年3～4回の大幅改良を想定すると、以下の対応が必要であると考えられた。

- (1) 手作業などの機械化
- (2) 夜間の無人運転の拡大
- (3) 加工の高速化

したがって、これを基本とした造りの効率化、スピード化を進めた。

3. 各分野での経過と造り

3.1. 木型模型造り

木型造りでは、熟練者による手作業が主体であったため熟練者が不足していた。また、木材が主体であることから、季節によって湿度が影響して寸法変化が生じるなどの問題もあった。

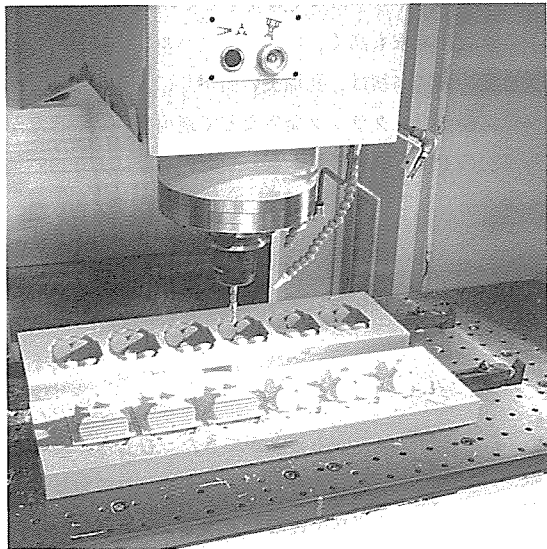


Fig. 1 NC Machining for Wooden Die

したがって、経験の少ない人にも早く造れ、しかも精度の良い木型造りの手法がまず必要となった。そこで、CATIAを利用して自由曲面の3次元データを作り、NC加工することに着目して研究を進めた。1986年にはその技術的な目的がたち、ポート周辺、ウォータージャケットなどの重要部品から順次適用した。しかしながら、実際のところ、自由曲面の3次元データ作りは相当期間の訓練を要する領域であり、一気に拡大することは難しく、栃木地区を中心として順次拡大する手法がとられた。

このNC加工 (Fig. 1) 化により、必然的に材料も木材から樹脂材へ置換され、総合的に精度の高い木型が、若手を中心とした戦力で造れるようになった。もちろん、最後は熟練者の腕に頼る部分も多いが、V12エンジンの木型を約1ヵ月で造れる体制となり、スピード化が進んだ。

3.2. 素材造り

鋳造部分はどちらかと言うと人海戦術的な造りで、経験に頼る部分が多く、当初から品質の問題、特に排気ポート廻りの鋳巣による圧漏れが潜在的にあった。また軽量化などによる設計変更によって、部分的に肉厚が薄くなる部分ができると、厚い部分と薄い部分の間の凝固バランスが崩れ鋳巣が発生する。そのため、エンジン開発のテンポに造りの技術が追いつけない状態が生じた。

1986年頃から、供給量の対応も考慮して、シリンダヘッドの金型鋳造、コスワース式鋳造法も検討したが、技術的問題や小廻りのきく対応が難しいなどの問題があり実現しなかった。そこで、砂型鋳造を基本とした体制で対応を進めることとし、各行程での改良に取り組んだ。

まず、溶湯の炉前組成分析を行うことから始めた。添加成分のバラツキ、消耗などにより、熱処理後の硬さ不良や組織の粗大化などの問題があり、これらの問題を防止し、品質の上限を得るためには炉前組成分析は不可欠の行程であった。そして、1985年より、全ロットについて分光分析によるチェックを実施した。

また、アルミ溶湯を清浄にするための脱酸処理を人手によって行っていたが、暑い炉上での作業であり、必ずしも充分に行えなかった。そこで、1987年にバブクリーンという装置に置き換え、定量的に処理が行えるようにした。これにより、アルミ溶湯中のH₂含有量を最も少ない値に抑えることができ、その結果、鋳造素材の引張り強度を約10%向上させることができた。(Fig. 2)

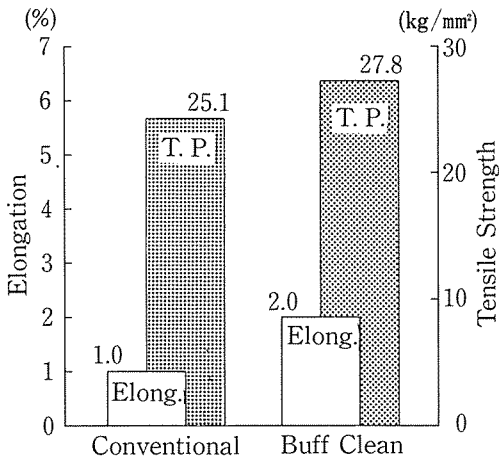


Fig. 2 Comparison of Strength after Buff Treatment

また品質向上の切札として、砂型による低圧铸造法の研究を進めていた。この手法は、方案や条件を決めるまでは時間を要するが、それらが決まれば安定して品質の良い素材が得られることが確認されていた。

1987年V10エンジンの開発が始まり、シリンダブロックがアルミ化され、形状も複雑になった。铸造では、従来からの手汲みによる注入方法で種々の対策を行ったが、得られる品質には限界があった。さらに、1989年からのV12エンジンの開発が始まると、その問題は一層拡大していった。例えば、ブロックの铸造では、5人の担当者が秒単位で時間差をつけながら20kgもある杓で注湯するため、1人でも合わないとう湯が廻らなかつたり、铸巣ができたりする。そこで、これを改善するためには、砂型による低圧铸造法しかないと考えられ、その適用を推進した。(Fig. 3)

しかしながら、素材造りの80%は外部メーカーの製作に依存しているので、全ての部品に対して即時に適用することはできず、協力メーカーの装置導入を主体とする体制作りから始めた。さらに、作業の標準化、技能訓練トライなどに意外と時間を費やし、この分野の難しさを痛感させられた。そして、1991年6月からヘッドおよびブロックに適用して大きな戦力となった。

この頃から品質の要求レベルも大幅に高まってきて、マイクロポロシティも問題になってきた。圧漏れ封孔のための含浸処理を施した部品も、従来は含浸処理をして2回再生使用が許されたが、1992年では含浸品は一切使えないこととなった。铸造品質としては大幅に向上し、戦力となったが、それでも課題は残された。

一方、軽量化のための新しいマグネシウム材の造りの研究も進められていた。イギリスのMEL社で開発された材料を用い、そのひとつはZr系の高強度材で、RZ5を1984年に、もうひとつは高温強度特性の良いZr-Y-Nd系材でWE54を1987年に導入し、それぞれ部品化を急いだ。MEL社に向いて作り方の研修を受けたが、それぞれの材料共に溶湯の酸化特性が特に問題であり、部品にするのは容易ではなかった。時々火柱が立って度肝を抜かれたこともあったが、試行錯誤を約2年にわたって繰り返し、RZ5を1986年ごろからケース類に

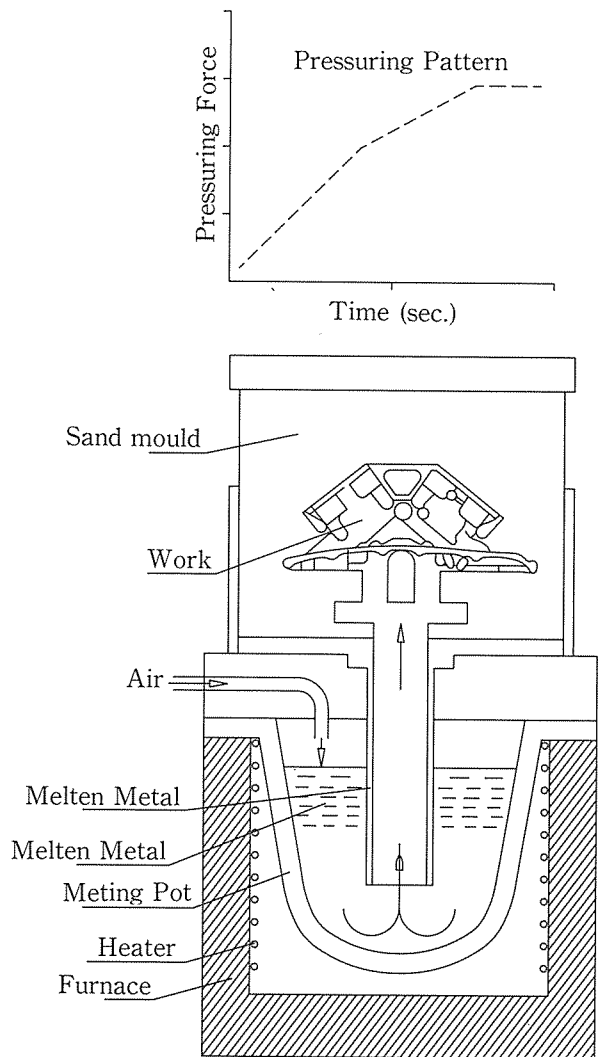


Fig. 3 Cross-section of Low Pressure Direct

全品適用し良い結果を得られるようになった。

ロアケースに対しては非常に複雑な形状にもかかわらず1992年にWE 54で製品化して適用し、1部品で3kgの軽量化を行うことができた。

3.3. 箱物加工

このF-1が始まった時期は、加工区では、ヘッド、ブロックなどの加工を従来の汎用機主体のシステムからマシニングセンタ主体のシステムに整備しつつあったことから、これを基本として供給量の増加と供給体制の強化を図った。特に1987年の2チーム供給、1989年のV10開発に伴う大型化対応で、マシニングセンタを中心とした設備の増強を図る必要があった。

また加工技術上でも、行程の集約化、夜間無人運転の拡大、工具の改良など細かな工夫の積み重ねで、機械をフルに活用する体制を整えた。外部製作品への依存度も増加していったが、1992年のV12仕様で1台/日の能力で、加工日程も最短で15日/1台、平均でも20日前後で可能な能力を持つようになった。(Fig. 4)



Fig. 4 Machining of Cylinder Head

しかし、機能や性能に係わる部分の加工は手作業が多く、課題として残されていた。そのひとつは燃焼室の加工で、ナソビヤ倣いフライス盤によって木型モデルから倣い加工をして、仕上げ加工として手研きの作業を行っていた。手研きであるため、人によって燃焼室容積に差異が生じたりして調整に時間と手間がかかった。そこで1987年に、能率と精度の向上を狙ってNC加工を取り入れた。初期のNC加工では多少の手仕上げを必要としていたが、3次元化と制御系の発展によってさらに精密な加工ができるようになり、手仕上げが廃止できるレベルにまで達した。しかも無人で24時間続けて燃焼室の加工ができることになり、開発の効率も一段と進んだ。

もうひとつは、吸気ポートと排気ポートの機械加工化であった。V6ターボエンジンの時代からある程度の加工はしていたが、最後は熟練した人により仕上げられていた。1989年には、NAエンジンに変わるのに先立ち、ターボエンジン以上のポートチューニングと精度の良い造りが必要とされた。

そこで、CATIAによる3次元モデルの数値化に取り組むこととした。図面には基本寸法程度の記入しかなく、モデル作成上大変苦勞することとなった。やむを得ず、テスト担当者に良いと思われるポート型を造ってもらい、それをいくつかの断面に切って形状測定を行って数値化していった。

加工区では、工具の歯先形状、大きさ、シャンク部の剛性など種々な工夫で、1989年のNAエンジンから全ポート機械加工することに成功した。(Fig. 5)

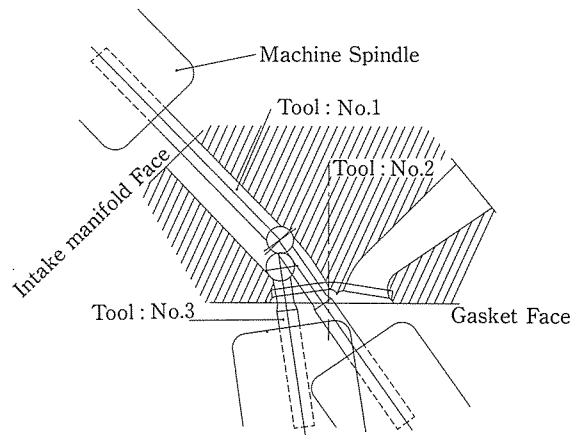


Fig. 5 Cross Section of Port Machining

また、1992年には、各機械の特性誤差が問題になるほどのレベルが要求されるようになったが、各機械の特質を掴んでデータ上での修正を加えた。これにより、ポート研磨の工数が大幅に削減され、特性の同じエンジンを造ることができた。

3.4. 軸物加工

軸物加工では、クランクシャフトの加工が汎用機で行われていたため作業能率が悪く、V6ターボエンジン用のクランクシャフトで約2ヵ月の加工日程を要していた。精度的にも真円度や円筒度が悪く、加工後に一か所一か所測定しながら修正を行っていた。

1985年頃から、量の拡大が予測されたので効率化を含む体制造りを始め、一般の開発機種を含めた対応が可能となるようにした。そして、1985年の素材加工用クランクミラーの導入に始まり、クランクピン研磨機、ジャーナル研磨機、超精密仕上げ機械(栃木に設置)など一連の加工機を設置してクランク造りの効率化が行われた。

また、このクランクの熱処理も、当初は鈴鹿製作所で量産の合間に処理してもらっていた。日程に余裕がなく、クランクを担いでの新幹線での往復が続いたが、1987年社内に処理炉を整えて加工機を含めた一貫加工体制で造れるようになった。それにより、真円度、円筒度、面粗度、振れなどの精度に大幅な向上が図られ、V12エンジンのクランクで約1ヵ月の日程で造ることが可能になった。(Fig.6)

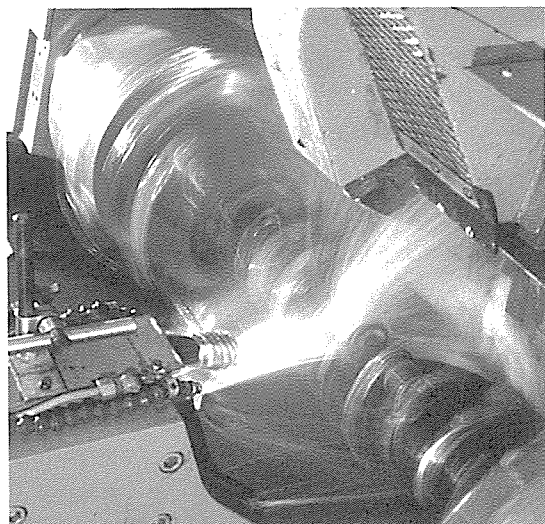


Fig. 6 Grinding Process for Crank Pin

カムシャフトの加工も、制御の分解能を上げてカムプロフィールの精度を向上させ、さらにオートロード付きの新鋭機により24時間運転が可能となったことにより、多様化、スピード化に対応した。

ギヤ類、ポンプ類、ケース類など100点に及ぶ部品も、社内および試作メーカーの技術交流、専門メーカーへの依存などそれぞれ得意分野を担当した。

この時代はNC化の発展期であり、各所にこれらの技術が生かされ部品造りが進化した。

3.5. 製造品質保証

品質は行程で作られる"ことを原則として、品質の保証に取り組んだ。

まず、図面段階では、以下の3項目について、各業種のエキスパートによる「加工検討会」を行った。

- (1) 図面に製造上の問題はないか
- (2) 信頼性の高い造りができるか
- (3) 過去にトラブルはなかったか

検討会は、FMEAを取り入れて出図ごとに行い、図面への反映と、造り方案の検討を行った。

第2段階としては、造りの標準化と社内、外の工程品質確認を実施した。ある程度の量は造るといっても、試作的な造りであり専用化はされていない。また、他の試作品との混流であることから、設備が変わったり、人が変わったりすることがある。このような時に往々にして精度レベルが変化したり、間違いが発生するケースが多かった。したがって、これらの現場チェックと担当者の指導を徹底的に行うことが重要であった。

最後の段階は、部品検査によって保証した。初期の頃は30%程度の抜き取り検査で対応していたが、信頼性が上がり良いレース結果が続くようになると、かえってひとつでも悪い物は流せない状態になり、レベルの少しでも良い物を選んで使うようになってきた。検査率も順次上がり、1991年では全部品測定検査、1992年では全部品、全箇所をチェックを基本とした。しかも、重要部品は二重三重のチェックを行ってレースに臨んだ。

また、素材は内部品質のレベルが問題となり、各段階でのチェックを実施した。素材区では鋳造後にレッドマーク検査を全品実施し、抜き取りでCTスキャナによる鑄巣確認、ファイバースコープによる内側のクラック、鑄巣、砂残りなどの目視確認、加工の中間工程における圧検と加工面のレッドマーク検査、さらに加工完了後に各

油路や水通路などの全箇所圧検など多くの検査項目を実施し、少しでも心配のある物は流さないようにした。それでも、レベルが問題になることがあり、限界使用の厳しさを痛感させられた。

4. あとがき

F-1に復帰して10年、レースで勝つことの喜びも大きかったが、いろいろ苦勞して造った物が最後まで走りきってくれた時、何よりも嬉しく、安堵の気持ちになった。いつもそのことばかりを念じていたような気がする。

振り返って見ると、素材との戦いであったような気がする。しかし、かなり難しい物でも、皆が目の色を変えて取り組み、何とかものにしたこの経験は、貴重な財産として各自に残っているものと信じる。

F-1と共に試作における造りの進歩があり、この技術と活力は今後活かされていくことであろう。

このような仕事に携わってこられたことを光榮に思うと同時に、支えてくださった内外の皆さんにお礼を申し上げます。

■著者■



荻島 勇



森 永 明 夫



光 内 薫



阿 部 繁 雄