

# 産業用無人ヘリコプタ FAZER 用 4 サイクルエンジンの開発

Development of a 4-stroke engine for the FAZER industrial-use unmanned helicopter

村松 浩義



図1 EG 外観

### Abstract

For the full model change of Yamaha Motor Co., Ltd.'s "FAZER" industrial-use unmanned helicopter, a 4-stroke engine (Fig. 1) newly developed by Yamaha Motor Engineering Co., Ltd. is used as its power unit.

We adopted this 4-stroke engine to improve environmental performance, and developed various techniques to reduce aircraft weight to achieve a stable operating payload (loading capacity). Various weight-reducing measures were implemented in order to clear the regulations set for industrial-use unmanned helicopters.

In this report, we introduce the 4-stroke engine developed for the FAZER with a particular focus on our approach to reducing weight.

## 1 はじめに

フルモデルチェンジを果たしたヤマハ発動機(株)の産業用無人ヘリコプタ「FAZER」には、ヤマハモーターエンジニアリング(株)(以下、当社)で新たに開発した4サイクルエンジン(図1)が搭載されている。

2サイクルエンジンを搭載した現行モデル「RMAX」に対し、安定したペイロード(離陸重量)の確保と環境性能の向上を達成するために4サイクル化と排気量の拡大を進めるとともに、様々な軽量化施策を織り込むことで、産業用無人ヘリコプタとして法規上の重量の制約もクリアした。

本稿では軽量化施策を中心に「FAZER」用4サイクルエンジンについて紹介する。

## 2 開発のねらい

「FAZER」用エンジンは現行モデル「RMAX」に対し、基本性能の向上を図ると共に、社会環境の変化に対応した次世代の産業用無人ヘリコプタ用エンジンとして、次の3項目を開発目標とした。

### ① 安定したフライトの実現

- ・気温、標高、天候の変化に左右されないエンジン
- ・高地高温下でのフルペイロードの確保

### ② 散布作業効率の改善

- ・機体重量軽減による薬剤搭載量24Lの実現
- ・燃費向上(現行比20%向上)

### ③ 周辺環境への配慮

- ・低騒音(70dB以下 50m先ホバリング時)
- ・排気ガス排出量の低減(自主規制値のクリア)

これらの目標を達成するために加え、今後予想される環境規制対応も見据え、重量面では不利になるものの、FIを搭載した4サイクルエンジンを採用した。

### 3 エンジン概要

#### 3-1. エンジン諸元

エンジンレイアウトは「RMAX」同様、左右の重量バランスに優れ、エンジン全高を抑え、かつ全長が短くメインマスト寄りにエンジン重心を近づけることができる水平対向水冷2気筒を採用した。外観寸法を図2に示す。

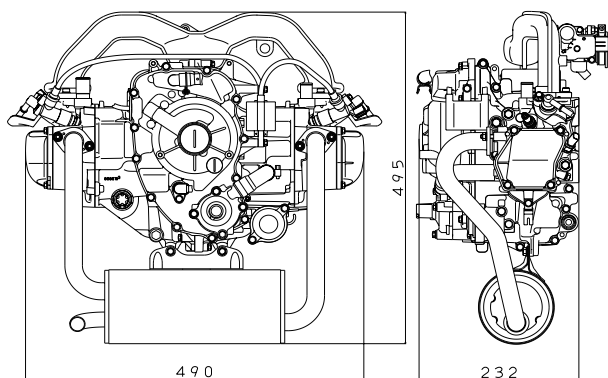


図2 外観寸法

産業用無人ヘリコプタはスロットルサーボにより、エンジン回転数は6000rpmで一定に保たれるように制御される。そのため、特に高回転域の性能は要求されないことから、動弁システムはOHV2バルブを採用することで部品点数の増加を抑えた。

また、性能シミュレーションの実施などにより、ボア×ストロークは66×57(排気量は390cc)、圧縮比は10.1:1とし、6000rpmにて出力19.1kw以上を発揮することで、「RMAX」に対し約25%の出力を向上させるとともに、目標とする高地高温下(1000m、30℃)でのフルペイロードを達成した。

さらに水平対向エンジンのレイアウトを活かした長い吸気管と排気管の長さを最適化することによりフラットなトルク特性を実現することで、瞬間的な回転変動に対するフライト時の安定性を確保した。

諸元表を表1に示す。また、性能特性を図3に示す。

表1 諸元表

原動機種類	水冷4ストローク OHV 2バルブ
気筒数配列	水平対向2気筒
総排気量	390cc
ボア×ストローク	66.0 x 57.0 mm
圧縮比	10.1:1
出力	19.1kw 以上 / 6000rpm
始動方式	セル式
潤滑方式	ウェットサンプ
点火方式	TCI
燃料供給方式	FI
燃料	レギュラ - ガソリン

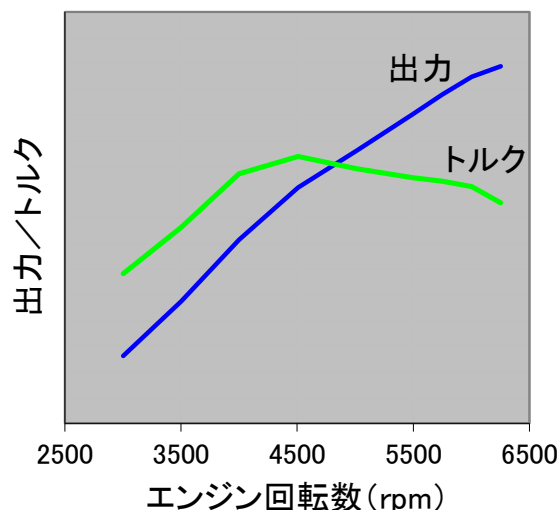


図3 性能特性

#### 3-2. 環境性能

「FAZER」用エンジンは将来の環境規制対応を見据えて、4サイクル化と共にFIシステムを採用した。

その結果、「RMAX」に対し排気量の拡大と出力の向上(ペイロードの向上)を図りながら、目標とする20%の燃費向上を実現した。

また、排気ガス排出量についても日本陸用内燃機関協会の自主規制値「非携帯機器用エンジンのクラスII」をクリアした。

#### 3-3. エンジン重量

産業用無人ヘリコプタは、最大装備重量が100kg以上となると航空機製造事業法の適用範囲となり、有人機と同等の製

造工程管理などが要求される。そのため「FAZER」は最大装備重量100kg未満をMUST目標として開発を行った。

上記エンジンレイアウトの採用や、次項以降に示す各部品仕様の採用により、高価な軽量材料を多用すること無く重量の増加は最小限にとどめ、4サイクルエンジンを搭載しながら「RMAX」に比べ機体全体で軽量化を実現し、目標としていた24Lの薬剤搭載を可能とした。

## 4 エンジン各部仕様

### 4-1. ヘッドシリンダ、クランクケース

コンパクトなOHV2バルブのヘッドシリンダはアルミ製LP鋳造品、クランクケースは左右割のメッキシリンダ一体のアルミダイカスト製である。

これら大物鋳造部品について、本エンジンでは開発初期からデジタルエンジニアリングを活用した。プロト試作段階から製品3Dデータを製造部門と共有し、解析ツールを用いることで強度面だけでなく製造面からも軽量化に主眼を置いた形状最適化を行った。

図4にヘッドシリンダの凝固解析の一例(温度分布状況)を示す。

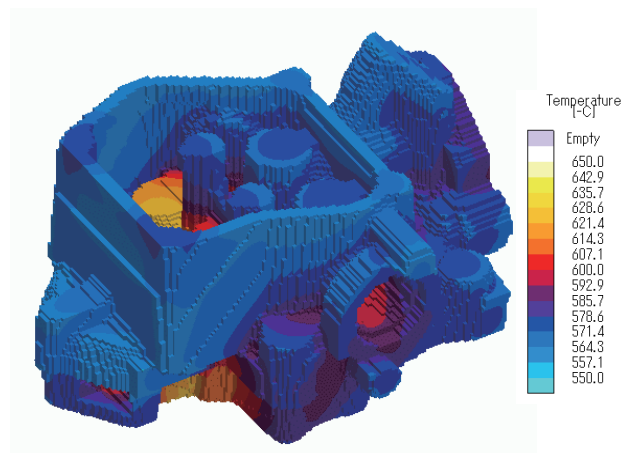


図4 ヘッドシリンダ凝固解析

### 4-2. 動弁系

OHVのカムシャフト駆動はギヤ駆動とし、中間アイドルギヤを設けることで、ギヤサイズを最小とした。

カムシャフトは水平対向のレイアウトを活かし、吸気および排気のカム山を左右気筒で共用し、カムシャフトの全長を短くした。また、カムシャフトにはオートデコンプを装備し、エンジン始動時の負荷を軽減することによりスタータモータを小型化した。

バルブを駆動するプッシュロッドは、軸部をアルミにすることで軽量化すると共に、熱膨張によるバルブクリアランス変化を少なくした。

ロッカーアームは小型船外機や汎用エンジンなどで実績のある球面ピボットによる板金製を採用することにより、ロッカーシャフトやシャフトを支持するボスが不要となり、部品点数の削減やシンプルなヘッドシリンダ形状とすることができた。

動弁系部品のレイアウト図を図5に示す。

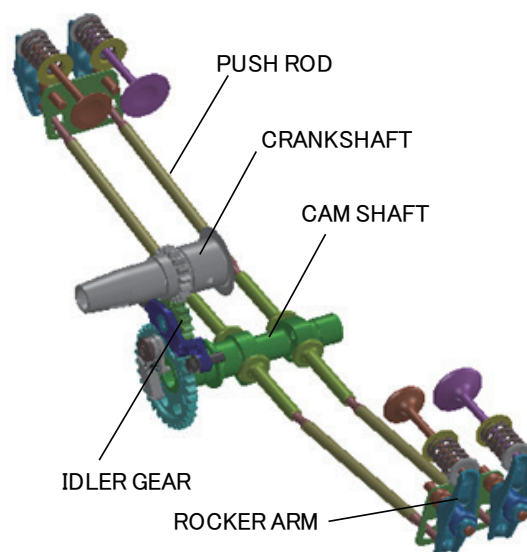


図5 動弁系レイアウト図

### 4-3. クランクシャフト

水平対向エンジンは左右のシリンダを360°間隔で爆発させ、お互いの慣性モーメントを相殺することで、低振動を実現すると共に、クランクウェブを小さく(軽く)できるメリットがある。さらに「FAZER」のエンジンでは左右シリンダのオフセットによる偶力振動を最小限とし、クランク重量をさらに軽量化するため、センタージャーナルレスのクランクシャフト(図6)を採用した。センタージャーナルを無くすることでクランク軸の撓みが課題となったが、センタークランクウェブ形状やクランクピン径、クランクジャーナル径を最適化することで十分な剛性を確保した。またクランクシャフトの材料をSCM420とし熱処理を浸炭焼入れ焼き戻しの熱処理を施すことで必要強度を確保した。

なお、ピストンはアルミ鍛造製とすることで重量の軽減を図った。

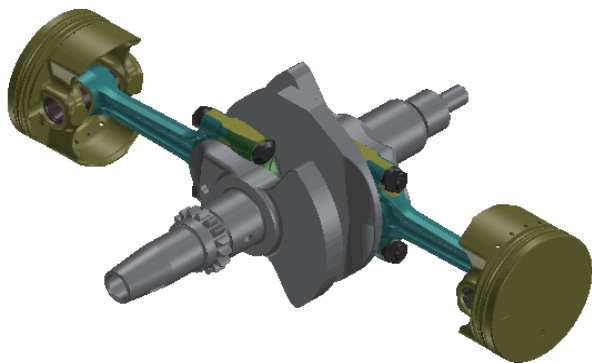


図6 クランクシャフト

#### 4-4. 潤滑

クランクシャフトの軸受けは重量を考慮しブレンメタルの採用を検討したが、ヘリコプタのフライト中の機体姿勢変化に対し安定した油圧供給を確保できるかが課題であった。軽飛行機用エンジンなどで実績のあるドライサンプ方式を採用すれば油圧確保は比較的容易であるが、その半面、部品点数やエンジンオイル量の増加で重量が増すため、ウェットサンプ方式を採用した。

そのために、「RMAX」を用いてフライト時の姿勢変化量とGの発生方向や大きさなどの関係を確認し、それらを基に油面挙動解析などを実施することで、クランクケース内連通路やオイルパン形状を最適化するとともに、バッフルプレートなどを追加した。その結果、ウェットサンプ方式で要求機能を満たす潤滑システムを開発することができた。

図7に油面挙動解析の一例を示す。ロール時にヘッドシリンダへのオイルの流れ込みが少なく、少ないオイル量(1L)でもオイルパン内の油面高さが確保されている。

評価においても、前後左右に自在に傾斜できるエンジン評価台を作成し、台上での信頼性を確認した上で、実機でのフライト評価に移行することで評価時の安全性にも配慮した。

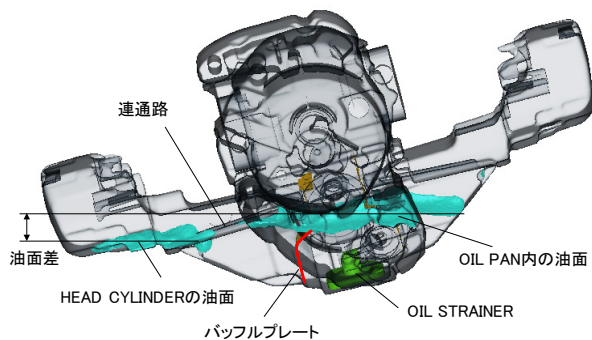


図7 油面挙動解析

#### 4-5. 吸気廻り

FIシステムは、スロットルボア径φ32のスロットルボディを専用設計とし肉厚などを最適化した。その他のFIコンポーネントはモーターサイクルの生産品を基本流用した。

管長の長いインテークマニホールド(図8)は樹脂(ガラス繊維入りナイロン)製とすることで軽量化を図った。



図8 インテークマニホールド

#### 4-6. マフラ

近年、住宅が水田などの近隣に存在することも多く、騒音の低減は重要なテーマである。

そこで3段膨張構造のマフラ(図9)を採用し、膨張室容積、およびテールパイプ径を最適化することで目標とする騒音値を達成した。

またヘリコプタはホバリング時など、マフラへの風当たりが少ない中での耐熱信頼性が必要である。「FAZER」ではマフラ材質にチタン合金を採用することで、大幅な軽量化と、耐熱信頼性を確保した。

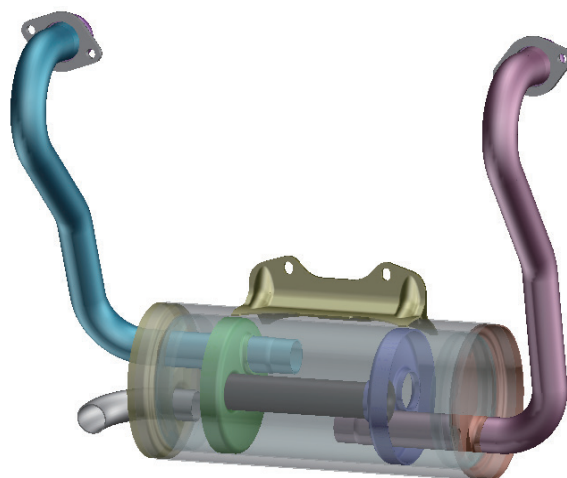


図9 マフラ



## 5 おわりに

本エンジンの開発は、ヤマハ発動機グループのエンジニアリング機能を担う当社において初めて経験する領域であった。また産業用無人ヘリコプタ用としては、ヤマハ発動機においても15年振りの新規開発ということで、過去の事例も少ない中、要求機能や市場での使われ方を一つ一つ検証し、設計指標に落とし込み、評価してまたフィードバックと、開発メンバーにとっては苦労を要すると共に大きな挑戦であったが、モーターサイクルやマリンエンジンなど様々なエンジンの技術要素を取り入れ、ヤマハらしいモノ創りができたと考える。

「FAZER」は次世代の無人ヘリコプタとして飛躍的な進化を実現できたと確信しており、その利便性についてより多くのお客様の支持を得て、国内農業を始め、多用なシーンで活躍することを期待している。

### ■著者



**村松 浩義**

Hiroyoshi Muramatsu

ヤマハモーター

エンジニアリング株式会社

エンジン設計部