

産業用無人ヘリコプタ "FAZER" の紹介

Introducing the "FAZER" industrial-use unmanned helicopter

吉原 正典 林 隼之



Abstract

Currently, there are more than 2,400 units (number registered in 2013) of the Yamaha "RMAX" industrial-use unmanned helicopter in use for crop dusting in the Japanese market alone. The total area of rice paddies dusted by these helicopters for pest control has grown in scale to represent more than one-third of the country's total rice paddy area under cultivation, proving the necessity of these industrial-use unmanned helicopters in Japan's agricultural industry. However, despite the strong reputation of the existing RMAX, 15 years have passed since the model's release and it has only undergone numerous minor specification changes over this period. There are limitations in areas like the various systems employed, the platform and the weight of payload it can carry, and these limitations do not leave sufficient room for advancement of its capabilities for the future. Due to these conditions, we undertook a full model change to develop a next-generation unmanned helicopter. In this report, we introduce the new "FAZER" industrial-use unmanned helicopter and its development.

1 はじめに

現在、農業散布分野で活躍するRMAXは、日本市場だけで2,400機(2013年度登録台数)を越えており、水稲防除における無人ヘリコプタの防除面積は、日本全国における水稲の3割以上を担う市場規模に達し、産業用無人ヘリコプタの必要性を確固たるものにした。しかし、好評を博している現行のRMAXも初期リリースからマイナーチェンジを繰り返しながらも15年を経過しており、各種システム・プラットフォーム・積重量などの制限があり、今後の発展に対し、十分な対応ができない状況である。そのため、フルモデルチェンジを行い、次

世代の無人ヘリコプタを開発するに至った。本稿では、その産業用無人ヘリコプタ"FAZER"について紹介する。

2 開発の背景およびねらい

農薬散布として広く出回っている無人ヘリコプタは、離陸総重量が100kg未満で、航空機製造事業法の適用を受けない領域である。そこで、薬剤等の搭載量を増やすためには、プラットフォームとなる機体重量はできるだけ軽くする必要がある。

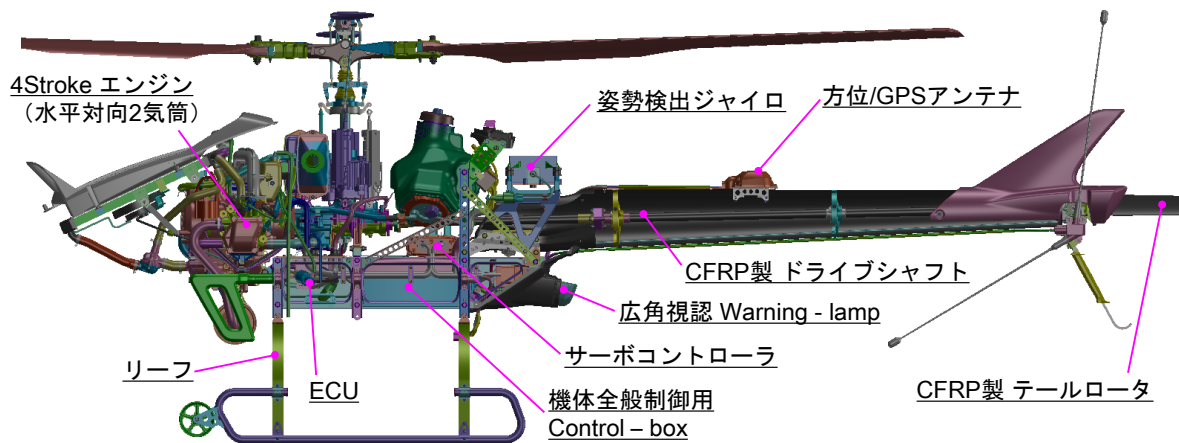


図1 略レイアウト / フィーチャーマップ

ある。具体的には、24kg(現行RMAXは、最大16kg)の薬剤を搭載して環境(高度、気温他)変化に対しても、安定飛行ができる性能が求められる。また、利用領域を広げるためのプラットフォームは、様々な用途拡大に合わせた外部アプリケーションへの対応能力や、次世代のフライト安定性を有することが望まれる。環境面では、今後適用が予定される日本陸用内燃機関協会の「非携帯機器用エンジンのクラスⅡ」への排ガス対応が必要となる。

このような背景から以下の4項目を開発主眼とした。

- ・安定したペイロード(離陸重量)の確保
- ・汎用性の高い次世代機体プラットフォームへの進化
- ・今後の環境規制への対応
- ・機体の軽量化

これらを実現するために、以下の開発方針(手段)を設定した。

- ・動力源を4サイクルFI(4stFI)化し、排気量UPにより出力を向上させることで、安定的ペイロードの向上、環境対応を進める。
- ・CAN通信を採用し、電装レイアウトを最適化するとともに、拡張性とメンテナンス性に優れたソフトウェアを用い、外部アプリケーションとのアクセス環境を整備する。
- ・機体構成と制御システムを一新し、今後の発展性を確保しながら、フライト安定性を向上させたプラットフォームとする。
- ・軽量化のプライオリティを高く掲げ、エンジンの重量増分(2st→4stFI排気量UP)以上の軽量化を達成する。

フィーチャーマップを図1に、主要緒元を表1に示す。

表1 主要緒元

項目		諸元値
寸法	全長/ロータ含む全長	2,782mm / 3,665mm
	全高	1,078mm
	全巾	770mm
	メインロータ径	3,115mm
	テールロータ径	550mm
原動機	原動機種類	水冷・水平対向・OHV2気筒
	総排気量	390cc
	最高出力	19.1kw以上/6,000rpm
	燃料種類/容量	市販レギュラーガソリン/5.0L
性能他	最大離陸重量	100kg/1,000m、30℃
	実用搭載重量	33kg
	フレーム方式	Quint-Trapezoid CF Frame
	テール駆動方式	CF shaft drive + VR-Damper
	電装システム	YEN-UV
	制御方式	YACSⅡ
	機体通信方式	CAN
	騒音 (50m、4方向平均)	69dB (- 3dB) ※
重量	原動機系	20.2kg (+ 41%) ※
	駆動系	13.4kg (- 8%) ※
	機体系	12.9kg (- 24%) ※
	電装系	13.9kg (- 22%) ※
	液体類	6.2kg (+ 1%) ※
	総装備重量	66.7kg (- 5%) ※

※ (RMAX比)

3 エンジン概要

エンジンは、4stFI化し、振動特性に優れている水平対向2気筒を採用した。ペイロードを確保するため、現行RMAXより排気量を増加させ、出力を約25%向上させた。また、燃費は約20%向上させることで、燃料タンク容量と装備重量の削減が実現した。

図2にエンジン外観を示す。なお、詳細については、別稿の「産業用無人ヘリコプタ FAZER用 4サイクルエンジンの開発」を参照されたい。

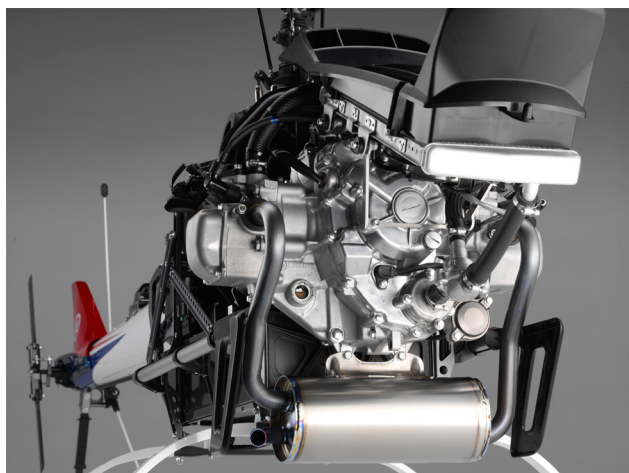


図2 エンジン外観

4 機体開発

“FAZER”の中で開発した幾つかのアイテムを以下に紹介する。

4-1. 多台形カーボンフレーム構造: Quint-Trapezoid CF Frame

台形状のカーボン製左右パネルフレームとテールボディを適正な位置で接合し、運搬、点検時に必要なテールボディ脱着を容易にしながら、全てのモードに対して高い剛性と変形ムラの無い強度バランスを確保した(図3)。特に横剛性が改善されたことで、テールロータからの高周波域の応答特性が向上し、それにより機体の制御性が向上した。また、内部の電装コントロールBOXをフレーム下部より容易に取り出すことができる構造にすることで、汎用性を向上させた。本構造により現行機種同部位比で、25%の軽量化を達成している。

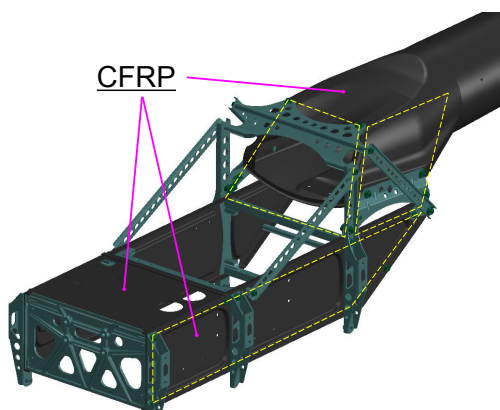


図3 フレーム構造

4-2. 可変応答ダンパー付きドライブシャフト: VR-Damper (Variable Response Damper)

テールロータ駆動のための伝達部材は、カーボン素材のシャフトを採用した(図4)。それにより軽量化だけでなく、機体を回転させないように姿勢を保つために必要な(テールロータピッチ角変化に応じて生じる)早いトルク変化に対しても、非常に速い応答性を発揮している。一方で、ヨー軸の姿勢を保つ上で発生しやすい高周波での自励的な振動に対しては、シャフトを2つに分割した中間部にVR-Damperを挟むことで、一定回転を保ちながら高いトルク域のみの発生を抑え、定常的に必要なトルク領域は早い応答を損なうことなく伝えている。図5にVR-Damperの効果を示す。

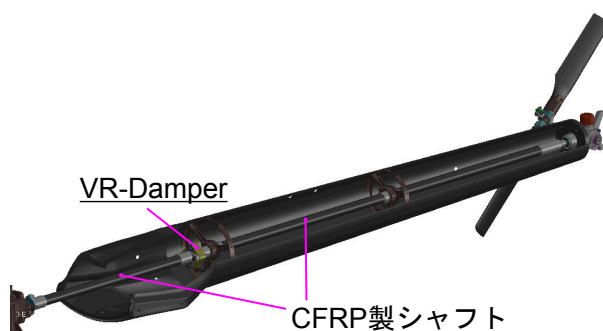


図4 VR-Damper ドライブシャフト

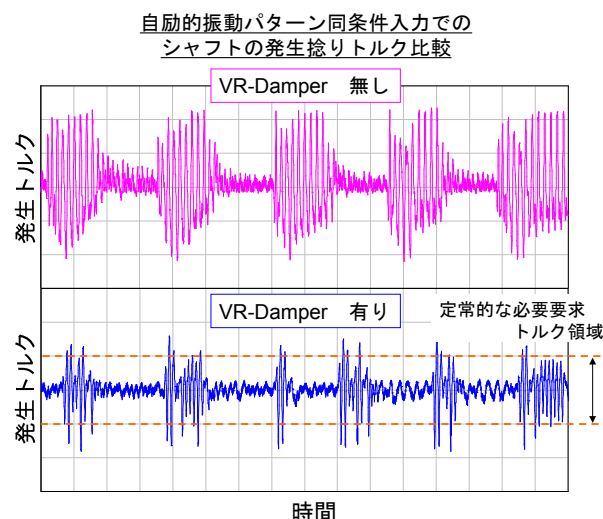


図5 VR-Damper 有無比較結果

4-3. リーフのCFRP化

リーフには、離着陸時の衝撃吸収、接地状態でロータ共振しない剛性特性、落下時に本体への破損を極力防ぐエネル

ギー吸収等の機能が要求される。ガラス素材からカーボンへの材料の置き換えによって高剛性化と軽量化は可能となるが、しなりの部分が十分取れず、離着陸時の衝撃を吸収することができない。また、フレームとの接合部に応力が集中することで、接合部での層間剥離が早期に発生し、フレームに大きなダメージを与えてしまう。そこで本機では、断面形状と積層構成について部分毎に適正化することで、カーボン素材を使ったリーフ開発に成功した。図6に変形の様子と変形時の応力解析結果(青→赤:低い→高い)を示す。

4-4. 冷却効果とデザイン性の融合デザイン

全体にシャープエッジを用いたデザイン性と内部冷却性を両立したカバー形状とした。これにより、ホバリング時(空中停止状態)や前・後進時における飛行パターンでも、図7のイメージのように内部へ適正に送風することで、冷却性能を高めている。

5 新電装システム:YEN-UV (YAMAHA Electrical Network for Unmanned Vehicle)

システム全体のコントロールとして、ニューラルネットワーク型の最適判断制御を採用している。各々の基板は制御情報のほか異常情報を共有し、万一異常が発生した場合は共有情報を基に最適な処理を選択することで、信頼性を高めている。

図8にシステム構成を示す。センサ・サーボモータ等の入出力装置に対しそれらを制御するための基板ユニットを配置している。ユニット間はCANによる通信ネットワークを形成することにより、情報共有の簡略化のほか通信の信頼性向上を図り、様々な追加アプリケーションの接続に対応する汎用性も高めている。全ての機器類は、耐水性(JIS D 0203 S1 or R2)の

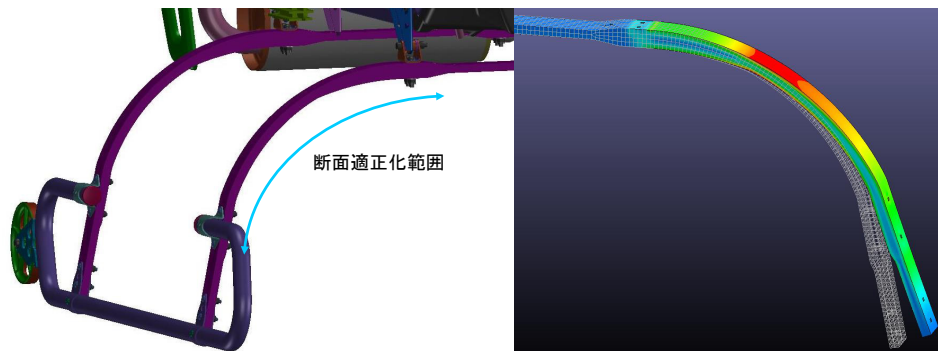


図6 リーフ形状 / 変形 / 応力イメージ

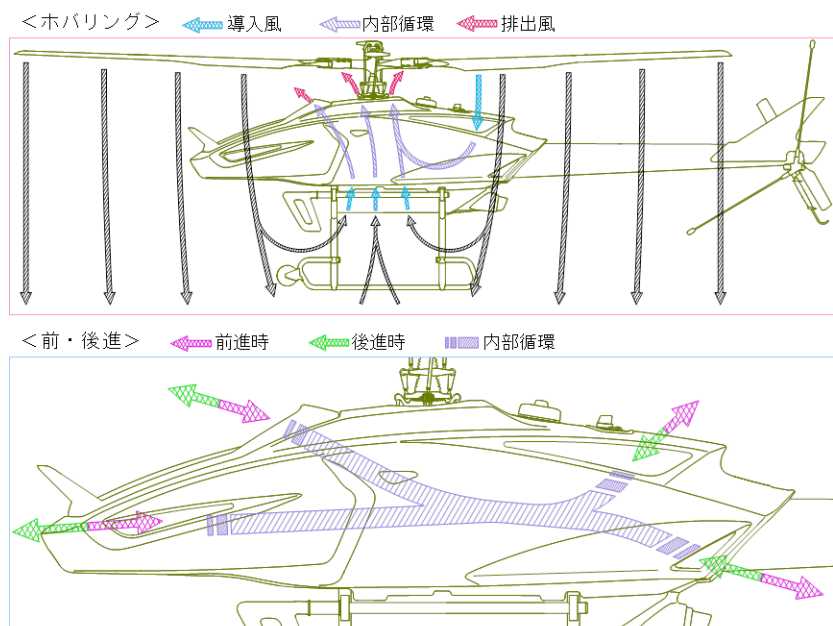


図7 冷却風の導入 / 排出イメージ図

確保など耐久性と整備性を向上させるために専用設計されている。

サーボモータにはコアレスモータを採用して応答性の向上を図り、温度センサを搭載した。アンプ基板はサーボ近傍に配置し、モータ制御のほか電流の監視を行っている。

ノイズの影響を受けやすいGPSアンテナと方位センサの2部品は一体型とし、お互いのノイズ要素を含んだ状態でキャリブレーションを行い、これを遮蔽物の少ないテールボディに配置することで、安定したGPS電波の受信と地球磁場の測定が可能となった。

新設計された送信機は人間工学を考慮した持ちやすい形状に変更し、軽量化することでオペレータの負担を軽減している(図9)。電波発信方式は、従来のクリスタル方式からPLL(位相同期回路)シンセサイザ方式に変更した。また、通信データにIDを設定することにより、送・受信機間での1対1通信が可能となり、通信障害への信頼性とセキュリティ性を向上させた。さらにリチウムイオンバッテリーの採用により長時間使用を可能としている。

ワーニングランプは、赤・黄・青のLEDを採用し、色と点灯パターンの組み合わせにより、オペレータに燃料警告や速度維

持モード等の情報を伝える。また、周囲の明るさに合わせて輝度を自動コントロールしており、朝夕の眩しさを低減しながら、昼間での見易さも両立した。図10にレンズ効果を加えて視野角を広げたワーニングランプの点灯パターンの一例を紹介する。



図9 送信機写真

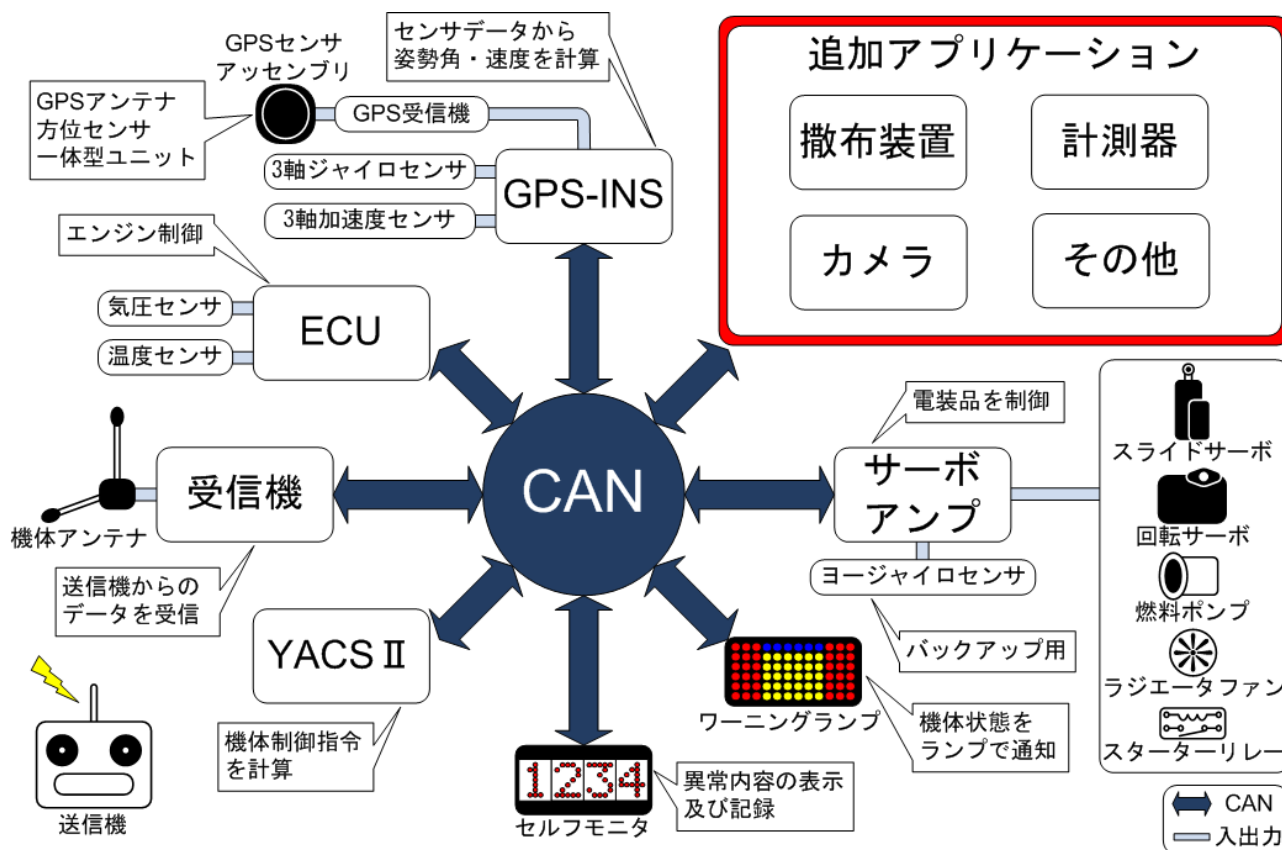


図8 YEN-UV システム全体図



図 10 ワーニングランプ

6 新制御システム:YACSH (YAMAHA Attitude Control System - Cruise control)

新たに開発した制御システムYACSHを搭載することにより、様々な環境での操縦安定性を向上させた。また標準搭載したGPSによる「速度維持モード」では、熟練者でも難しかった一定速度での飛行を初心者でも容易に行うことができるようになった。農薬を均一に撒布するためには、高度と速度を一定に保って直線飛行させる必要がある。風などの影響により速度や進行方向がずれた場合でも自動で修正をする機能を搭載した本機の速度維持モードを活用することによって、指定速度まで加速した後に一定速度で飛行を続け、減速操作によりホバリングする。その結果、オペレータの疲労を大きく低減させるうえ、均一撒布による作業の品質向上につなげることができる。

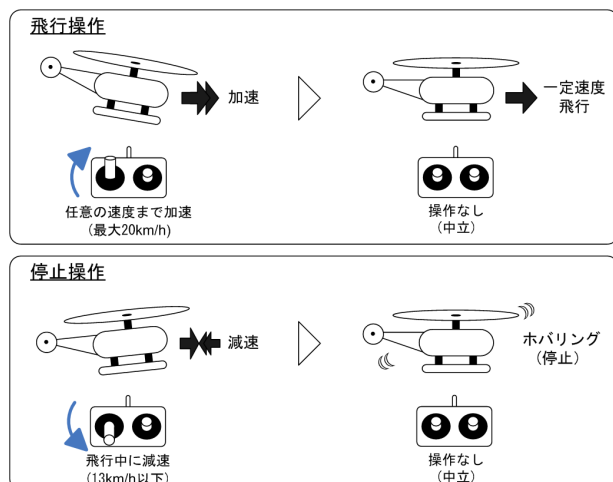


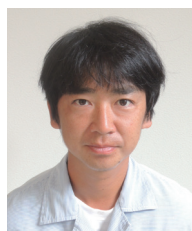
図 11 速度維持モード

7 おわりに

FAZERは、「安定したペイロード確保(出力向上)」、「汎用性の高い機体プラットフォーム(付加アプリケーションの簡便化、高剛性シャーシ)」、「今後の環境規制対応に順応(4stFI採用)」を満たし、最新の技術を搭載した機体を開発することができた。また、本機は現行の2stモデルRMAXよりも3.4kg(-5%)の軽量化を4stモデルで達成した。軽量化を進める中で得た教訓は、最適なレイアウトと機能、役割の集約化がいかに大切であるかということである。既存の機能領域の垣根を越え、全体最適で考え尽くされた本機FAZERは、重量はもちろん、レイアウトもシンプルでコストや耐久性にも優れた商品に仕上がった。

今後は、用途拡大に向けて様々なアプリケーションの開発・展開を進めるとともに、より多くのお客様から支持されるように一層の利便性向上を図っていく予定である。また、無人機ならではの厳しいシチュエーションにおいても、社会的使命を遂行できるように進化し続け、期待を超える価値を創造していく所存である。

■著者



吉原 正典
Masanori Yoshihara
事業開発本部
U M S 事業推進部
開発部



林 隼之
Toshiyuki Hayashi
事業開発本部
U M S 事業推進部
開発部