

大容量 32L の薬剤搭載を実現した 産業用無人ヘリコプター FAZER R

FAZER R: Industrial-use unmanned helicopter with large 32L agricultural chemical payload

木戸 徹 大西 慎太郎 平城 大典 木下 勝之 林 隼之



Abstract

Currently, unmanned helicopters are being employed nationwide in the agricultural sector. The number of units in operation, has already exceeded 2,600 (as of January 2015). Within its main purpose of use - pest control in rice paddies - unmanned helicopters have a high-work efficiency advantage through being able to spray large areas in short time periods. Unmanned helicopters now covered over 30% of the total pest-controlled surface areas, making them an essential resource.

Yamaha Motor began development of unmanned helicopters for pesticide spraying in 1983, renewing the original model in 2013 after about 16 years, with the release of the current model FAZER with its improved payload. After three years, the FAZER R has been developed based on the FAZER to feature even greater capacity.

1 はじめに

無人ヘリコプターは現在、全国の農業分野において活躍している。その稼働機体数は、すでに 2600 機（2015 年 1 月時点）を超える。主たる用途となる水稲防除では、短時間で広い面積を散布できることによる高い作業効率を利点としており、無人ヘリコプターを使用した防除が占める割合は今や延べ面積で防除全体の 3 割を超え、必要不可欠な存在となってきている。

ヤマハ発動機では、1983 年から農薬散布用の無人ヘリコプターの開発を始め、2013 年には従来モデルを約 16 年振りに一新し、ペイロード性能を向上させた現行モデル FAZER をリリースした。3 年目を迎えた今年、FAZER をベースに変更を加え、さらに性能を向上させたモデル FAZER R を開発した。

2 商品開発の背景と狙い

水稲防除を中心に普及してきた無人ヘリコプターであるが、有用性を高めさらなる普及を図るためには、他作物への展開を含め防除以外の用途へも広げていくことが必要である。そのためには、機体の運搬性といった機体重量やサイズに起因する取り扱い性は落とさずに、積載可能な荷物の重量であるペイロード能力をさらに向上していく必要がある。一方、法規制面では 2014 年 4 月、日本における無人機製造業の実態を踏まえ、農林水産業の競争力強化を目的に航空機製造事業法施行令が改正され、最大離陸重量（ペイロードを含む離陸総重量）の規制が 100kg 未満から 150kg 未満へと緩和された。ペイロード面においてすでに規制上限であった FAZER のさらなる高性能化への道が開いた形となった。

これらの背景から、FAZER R の開発主眼をペイロード性能の向上に置き、薬剤の搭載量を現行 FAZER の最大 24kg から同 32kg へ増加させることを目標とした。具体的な手法として、エンジン出力の向上と、テールロータの空力効率向上により達成を狙った。同時に、70kg 弱の機体において搭載薬剤重量が 32kg ～ 0kg まで変化しても操縦性を損なわない制御アルゴリズムの実現や、機体に装着し農薬を散布するための散布装置の薬剤用タンクを片側 12L（両側で 24L）から同 16L（同 32L）へと大型化し、商品性に直結する散布機能性能の向上も目指した。

3

開発の取り組み

表 1 に主要諸元を示す。

3-1. エンジン高出力化

高出力化の実現のため、以下の変更を施した。

①圧縮比の見直し（高圧縮比）

従来のピストン型素材を共用することでコストを抑えつつピストン加工形状を変更し、圧縮比を約 6 % 高めた。

②吸排気カムプロフィール変更

吸気／排気カムプロフィールの見直しを行い、吸排気効率を向上させた。またハイリフト化による面圧増加に対しては、カムシャフトに表面処理を追加し、初期なじみ性を向上することで信頼性を確保した。

③排気抵抗の低減

排気マフラー径の最適化を行い、消音性を確保しつつ、排気抵抗を減らした。

点火タイミング、燃料噴射量などの FI 適合値を合わせて最適化することで出力 20.6kW（旧モデル比 7.8% 増）を実現した。高ペイロード（高負荷）時にも対応できるようにしながらも、搭載重量が少ない低負荷（スロットル低開度）時でも、急激な出力変化を抑えるようなセッティングとした。また、エンジン出力全域にわたりスムーズなパワーフィーリングが得られるようスロットルコントローラのセッティングを見直すことにより、従来モデルに比べパワフルな操縦感を実現した。

さらに、増加したエンジン出力に対応するため、動力伝達系である遠心クラッチ、メイントランスミッション各種ギヤ、軸受けも合わせて強化し信頼性を確保した。エンジン、伝達系での重量増は 115g に抑えた。

表1 主要諸元

機種	FAZER R (新モデル)	FAZER (現行モデル)
項目	諸元値	
寸法・重量	全長・全幅・全高	3,665mm・770mm・1078mm
	メインロータ径	3,115mm
	テールロータ径	550mm
原動機	取扱重量*	71kg70kg
	原動機種類	4 サイクル・水平対向 2 気筒
	総排気量	390cc
	最高出力	20.6kw 以上/6,000rpm19.1kw 以上/6,000rpm
	燃料種類	レギュラーガソリン
	燃料容量	5.8L5.0L
性能他	積載重量	32kg/標高約 300m・30℃ (24kg/標高約 1,000m・30℃)24kg/標高約 1,000m・30℃
	フレーム方式	Quint-Trapezoid CF Frame
	テール駆動方式	CF shaft drive + VR-Damper
	制御方式	YACS II
	使用電波	73.22/73.23/73.24/ 73.26/73.27/73.28/ 73.29/73.30/73.31/ 73.32 MHz73.26/73.27/73.28/ 73.29/73.30/73.31/ 73.32 MHz

*オイル・燃料満タンの機体に散布装置本体（散布タンクは含まず）を取り付けた状態での重量

3-2. テールロータ翼型による空力損失の低減

ペイロード性能の向上を実現させるため、機体側ではテールロータ部での空力損失の低減、つまりテールロータから推力を得る為に必要なエネルギーの消費量をより小さくすることを目指した。このため、FAZER R では翼型としてキャンバーを持つ非対称翼形状を採用した。図 1 に機体寸法とテールロータ組み付け位置を、図 2 にテールロータの仕様をそれぞれ示す。

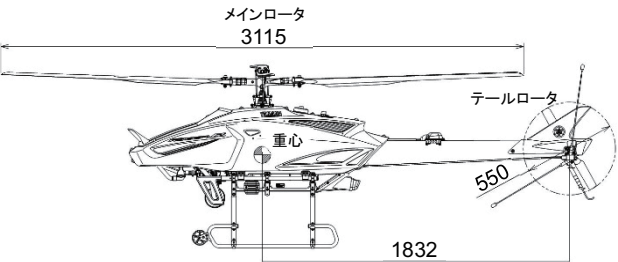


図1 機体寸法とテールロータ組み付け位置

仕様	翼型	形状
FAZER	対称翼	207 50 55 振下げ 0deg 11
FAZER R	非対称翼	207 50 55 振下げ 0deg 11

図2 テールロータ仕様

図3は、各翼型形状におけるテールロータピッチ角と推力の計測結果を示したものである。従来機 FAZER の対称翼型に対して FAZER R の非対称翼型では、同じ推力をより小さなピッチ角にて得ることができている。図4は、翼型形状変更によるエネルギー損失の計測結果を示したものである。横軸がロータ推力、縦軸がその推力を出すために消費するエネルギー量である。従来機 FAZER の対称翼型に対して FAZER R の非対称翼型では、ホバリング時に必要なテールロータ推力（黄点線）において、消費エネルギー量として約 4kW 削減することができた。削減したエネルギー分は、揚力や機体運動のために使用できることとなる。テールロータの空力特性の向上と前述のエンジン出力増を合わせた効果により、標高約 300m までの 32L 薬剤搭載による運用を実現した。

3-3. 電装システム

3-3-1. 姿勢基準システムYARS

(YAMAHA Attitude Reference System)

姿勢基準システム（YARS）を一新した（図5）。ジャイロと加速度計からなるコントロールユニットはセンサーの搭載を冗長化しており、万一に一部のセンサーに異常が発生した場合でも処理を継続できる仕様としたことで、信頼性を高めた。ケースは慣性モーメントの調整機能を備えており、誤差要因となる機体振動の影響を抑えるように重量バランスを作り込み、200g 以上の軽量化とを両立させた。姿勢角の演算には拡張カルマンフィルタを採用し、温度や湿度といった環境変化に対する精度を向上させている。

3-3-2. 飛行制御

飛行制御では積載重量の変動に対するロバスト性を考慮した設計を行った。機体重量 70kg 弱に対し、薬剤の積載重量が最大 32kg となり、薬剤散布後の空状態と比較して飛行中に 30% 前後の重量変動が発生する。重量変動は機体慣性モーメントの変動となり姿勢制御に大きな影響を与える。本モデルでは、制御入力において不安定要因となる二次遅れ要素の影響を小さくすることにより、重量に対する制御の感度を落とすことに成功し、全重量域でより均一な操縦性を実現した。

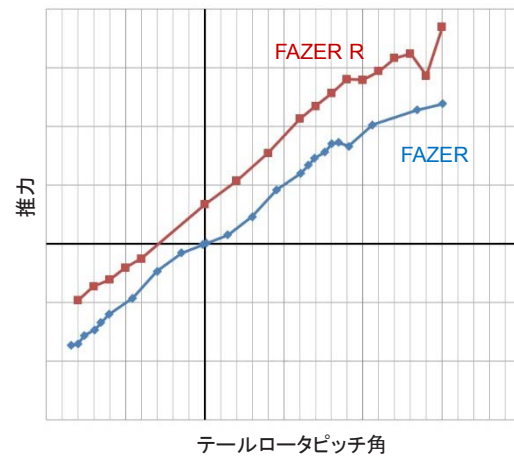


図3 テールロータピッチ角と推力特性

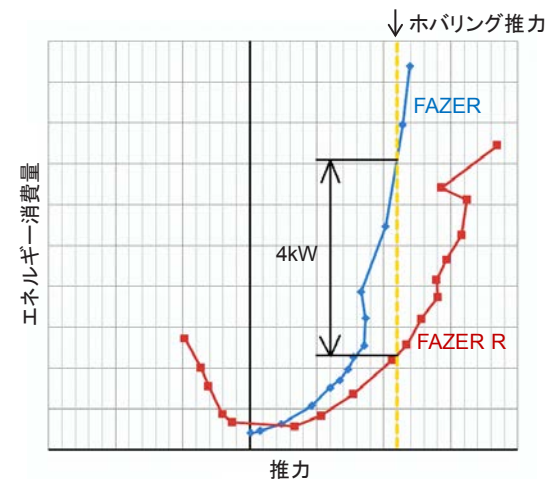


図4 テールロータ推力と消費エネルギー



図5 新YARS(写真中央)搭載図

3-3-3. 操縦用周波数の拡張

操縦に使用する送信機の周波数を 7 波から 10 波へと拡張した。総務省の周波数割当計画表が改正されたことに対応した。複数機の同時運用に対して周波数不足による使用制限が緩和されることから、散布作業の効率化に貢献する。

4 散布装置

4-1. タンク透明度の向上

ペイロードのアップに伴う散布装置側の主な開発項目は、大容量タンク(16L)の開発である。万が一のタンク落下時においても、散布用タンクは破裂や変形により中の農薬が外部へ流出しない強度設計が必須となる。現行の12Lタンクは衝撃強度の高いポリエチレンを採用し高強度と軽量化を両立させたが、作業者が残量確認する際に重要となる透明性が犠牲になっていた。大容量タンクではさらに高い強度を必要とするため樹脂の肉厚が上がることで、透明度はさらに悪化してしまう。今回、基礎評価を粘り強く繰り返した結果、専用品材の新規開発に成功し、タンク素材として採用した。これにより大容量化にもかかわらず、現行と同等の衝撃強度と現行同等以上の透明度の高さを両立したタンクを実現した(図6、7)。



図6 散布機システムと16Lタンク



図7 タンク透明性比較 現行(左:12L)と新(右:16L)

4-2. メンテナンス性の向上

現行タンクは内部構造物が多いため、分解メンテナンスが困難であることや、タンク内に露出したボルトが洗浄作業性を落とすことが課題となっていた。新タンクでは、インサート成形によりタンク内で露出する金属部品を排除し(図8)、またタンク下部のバルブシステムを現行の挟み込み式からネジ式へ変更することで、組み立てをタンク外部からすべて行うことが可能になった(図9)。これらにより、洗浄性およびメンテナンス性の大幅な改善につながると考えている。



図8 タンク内部 現行(左)、新(右)

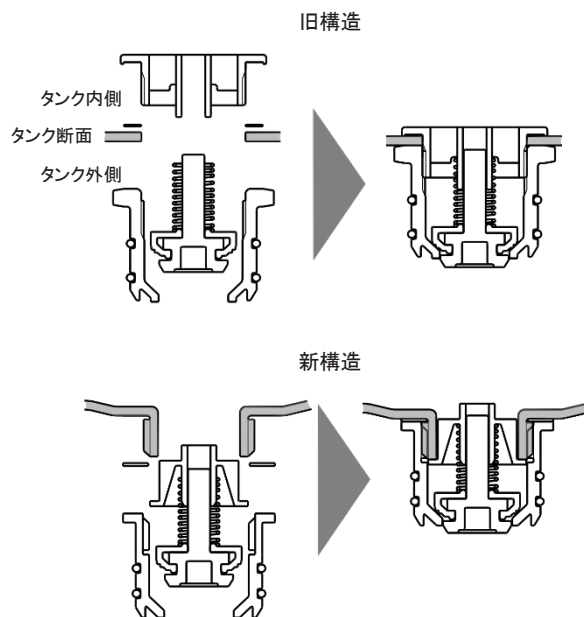


図9 バルブ構造

5 おわりに

今回開発した FAZER R は、無人航空機（通称ドローン）の農業向け産業用無人ヘリコプターとしてハイエンドと位置づけるモデルである。ペイロード性能を高めることによって 32L の薬剤を搭載可能とした。また、余裕のあるペイロード性能により、従来の 24L 搭載における使用ではより軽快な飛行を実現した。さらに、燃料タンク容量の増加による連続飛行時間の伸張や薬剤タンクの残量視認性向上等によって魅力的な商品に仕上がったと自負する。本モデルではこのペイロード性能を活かし、従来の防除だけでなく他用途への拡大やグローバル市場も視野に展開していく予定である。

今後も社会に認められ貢献し続けられるように、ヤマハ発動機製品であれば間違いないといわれる製品作りを進めていきたい。

■著者



木戸 徹
Toru Kido

ビークル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部



大西 慎太郎
Shintaro Ohnishi

ビークル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部



平城 大典
Daisuke Hirajo

ビークル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部



木下 勝之
Katsuyuki Kinoshita

ビークル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部



林 隼之
Toshiyuki Hayashi

ビークル&ソリューション事業本部
UMS事業推進部
開発部