

農業向け自動飛行機能を搭載した 無人ヘリコプター「FAZER R AP」

“FAZER R AP” Unmanned Helicopter with Automatic Flight Function for
Agricultural Applications

神田 大 松原 良寿 平城 大典 鈴木 健介 木下 勝之

三宅 隆文 春田 祐吾 伊藤 友秀 伊藤 葉介 菅野 遼太郎



Abstract

Yamaha Motor launched the “R-50”, the world’s first unmanned helicopter equipped with a two-stroke engine for spraying agricultural chemicals in 1987. Since then, various features have been added and the model has undergone a series of modifications. The current “FAZER R” model with its four cycle engine was launched in 2017.

One of the major challenges in Japanese agriculture is the decline in the farming population due to the nature of heavy workloads and the aging of many farmers. Since sales began, Yamaha Motor’s unmanned helicopters have contributed to solving these issues by providing efficiency in spraying operations.

The “FAZER R AP” model with automatic flight function was developed to provide a more efficient spraying functionality for the smart agriculture that will develop in the future and for rice paddies and fields, which are becoming larger in size. This paper will provide the overview of the development of this model.

1 はじめに

ヤマハ発動機では1987年に世界初となる2サイクルエンジンを搭載した農薬散布用無人ヘリコプター「R-50」の販売を開始した。その後、様々な機能の追加やモデルチェンジを繰り返し、2017年より現在の4サイクルエンジン搭載機「FAZER R」を販売している。

日本の農業における大きな課題の一つとして、重労働であることや農業従事者の高齢化などによる農業人口減少が挙げられる。ヤマハ発動機の無人ヘリコプターは、散布作業の効率化を提供することで販売以来問題の解決に寄与してきた。

今後発展していくスマート農業への対応や大規模化が進むほ場(水田・畑)に対してより効率的な散布機能を提供するために、自動飛行機能搭載モデル「FAZER R AP」を開発した。本稿では、その概要について紹介する。

2 開発の狙いと背景

本モデルにおいては3つのユーザーメリットを提供することを念頭において開発を行った。

1つ目として散布効率の向上が挙げられる。従来はオペレータの技量により散布作業に要する時間などの効率は様々であっ

た。本モデルの自動飛行機能を活用すればオペレータの技量に左右されず誰もが大規模ほ場を短時間で効率的に安定した品質で農薬散布することができる。将来的には自動飛行による補助者の削減など減少する農業人口への対応に繋がると考えている。

2つ目にオペレータの疲労軽減が挙げられる。自動飛行機能によりオペレータの負荷を軽減できるため、長時間運用における集中力の低下や操縦ミスなど疲労に起因する事故の低減が期待される。

上記メリットのある自動飛行機能だが、高機能になるほど複雑なアプリケーションになりやすく、特に高齢者などからは敬遠されがちである。それを解決するため本モデルでは対話型で進

めていくだけで設定が完了するシンプルモードなど、誰もが使いやすいUI(ユーザーインターフェース)とすることを3つ目のメリットとして重点を置いて開発を行った。

私たちはこれらの商品価値を目指して本開発を進めた。

3 開発の取組み

3-1. 機体

「FAZER R AP」の詳細スペックを表1に示す。本モデルでは新機能の追加に合わせ、機体のハードウェアの刷新を行った。主なトピックを以下に示す(図1)。

表1 スペック

項目	スペック
全長×全幅×全高	3.665mm × 770mm × 1.078mm
メインロータ直径	3.115mm
テールロータ直径	550mm
取扱重量	74.8kg
最大薬剤積載量	液剤32L・粒剤30kg
原動機種類／気筒数配列	水冷・4ストローク・OHV・2バルブ 水平対向2気筒
総排気量／ボア・ストローク	390cm ³ /66.0mm × 57.0mm
最高出力	20.6kW/6000r/min
燃料種類／燃料タンク容量	レギュラーガソリン／5.8L
制御システム	ヤマハ独自システム(YACS III agFMS- II h)
操縦用周波数	73MHz(マニュアル操縦)、2.4GHz(データ通信)
障害物検出システム	24GHz レーダー

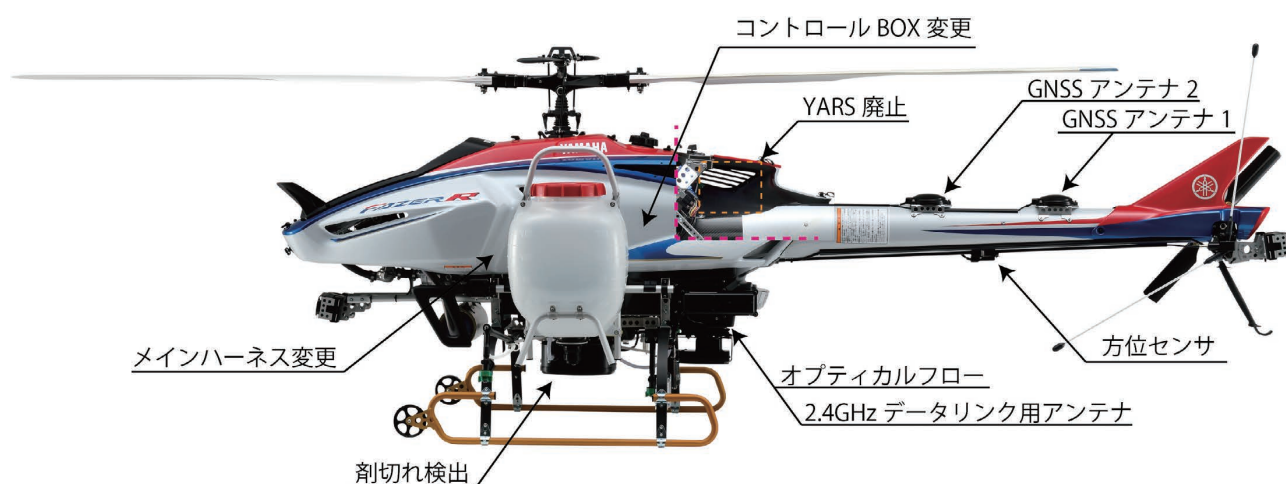


図1 フィーチャーマップ

3-1-1. 新工法適応

アンダーカバー（図2）と呼ばれる、機体後方に向けた外装パーツを、主に試作で用いられる工法である粉末成形で量産することを実現した。このアンダーカバー内は、通信機器や高度計測用のレーダーが搭載される。これら電子機器は、海外仕向地ごとの認証適合により形状が異なることから粉末成形の高い形状自由度を最大限生かすことができる。今後も無人ヘリコプターに求められる用途に応じて形状を変更できる工法として活用していく。



図2 アンダーカバー

3-1-2. 電装システムの刷新と環境に配慮した基板開発

本モデルに求められる機能を実現するため、高速な通信システムや高性能プロセッサを採用し、電装システムの全面的な再設計を行った。また、電子基板については、環境負荷物質削減のため鉛が含有されないハンダを採用した。

3-1-3. 機能アップと海外対応の両立

本モデルでは機能向上として様々な高性能通信デバイスを搭載し、機体外部とのやり取りや機体内部での信号処理を常時行っているため、EMS（電磁ノイズ）が発生しやすい。海外展開では EMS 規格が厳しい仕向地もあり、今回の電子基板は、それら規格と機能を両立できるよう、回路設計から部品選定、レイアウト、パターン設計に至るまで最適化を行った。

3-2. GNSS とジャイロセンサの複合航法システム

3-2-1. 自動飛行を可能とする測位の高精度化

既存モデルでは、GNSS (Global Navigation Satellite System) とジャイロ、加速度センサの複合航法システムを採用している。

本モデルでは、より多くの種類の衛星を受信できる GNSS 受信機を採用することで、山や谷といった地形や木々などの障害物がある環境でも安定した位置情報取得を可能とした。

また、自動飛行では高精度な緯度・経度を必要とするため、RTK (Real Time Kinematic) 測位によってセンチメートルオーダーの位置情報を利用できるようにした。RTK 測位の手段として基準局 RTK (GNSS 基準局 (図3) を設置する方法) とネットワーク RTK (インターネットを通じた補正情報サービスを利用する方法) とを選択できるようにし、ユーザは状況によって使い分けることができる。



図3 GNSS 基準局

3-2-2. 速度情報の冗長化

本モデルでは、画像処理技術を用いて機体の速度を推定する機能（オプティカルフロー）を追加した。この機能により、GNSS 信号が途絶しても機体はその場にとどまることができ、オペレータは落ち着いて GNSS 信号の回復を待つことができる。

3-2-3. YARS (YAMAHA Attitude Reference System) の小型軽量化

姿勢基準システム YARS は、高精度なジャイロセンサと加速度センサから構成されており、安定した姿勢制御を実現できる。本モデルでは、無人ヘリコプターの強い振動環境下においても正しく姿勢演算できる技術を確認し、従来必要としていた免振構造の廃止に成功した。これにより、YARS をコントロールボックス内の基板に統合することで、既存モデルと比較して約800gの軽量化を達成した(図4)。

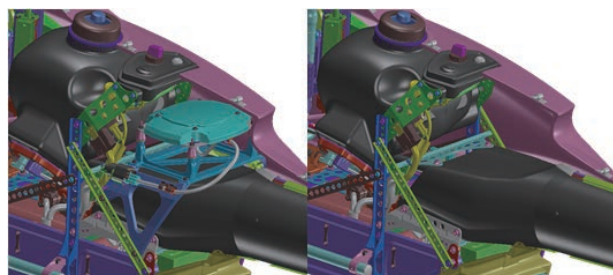


図4 既存モデルの YARS 設置箇所(左)と本モデル(右)

3-2-4. 機首方位測定の高精度化と冗長化

機首方位情報は、無人ヘリコプターの飛行制御において、直進性に影響を与える要素の一つである。本モデルでは、2つのGNSS アンテナを用いて算出した高精度な方位情報を追加した。これは、高圧線付近などの強磁界が発生する環境においても安定的に方位情報を算出できる。この利点を活かし、従来から用いている磁気方位センサと相補的に使用することで、飛行制御の正確性とロバスト性を向上させた(図5)。



図5 2つの GNSS アンテナ(上)と磁気方位センサ(下)

3-3. 制御

3-3-1. 手動飛行機能

・NM(ノーマル)モード

既存モデルの速度情報を使った制御モードのCC(クルーズコントロール)モードは散布に特化した制御モードであり、送信機の舵を離しても一定速度で飛行し続けることが可能である。本モデルではCCモードに加え、直感的な操作が可能であるNMモードを追加した。NMモードは、操舵量が機体速度と連動しているモードであり、速度コントロールが容易で、舵を離せばその場で停止するため、初心者オペレータはより安心感を持って操縦できる。また、昨今の電動ドローンに近い操縦が可能であり、ドローンユーザーも違和感なく操縦できるモードとなっている。

・リモートエンジンスタート

オペレータが送信機の操作のみでエンジン始動ができるリモートエンジンスタートを追加した。これまで機体の横に立って始動していたエンジンを、機体から離れたまま始動できるため、作業時間の短縮とオペレータの利便性の向上を実現した。

3-3-2. 自動飛行機能

・離陸から着陸まで自動で完結

本モデルでは、「ほ場内のどこにどのようなルートで散布するかの情報(散布ルート)」をあらかじめ機体に指示しておくことで、

1. 離陸
2. 散布開始位置まで移動した後、ルートに従って散布
3. 散布終了地点から着陸地点へ移動
4. 着陸

といった散布飛行全体を、自動で実施できるように開発した。これにより、手動操縦によって機体を飛行させる際の負荷の大部分からオペレータを開放できる。

・散布中断後の再スタート

散布飛行時は、燃料や散布薬剤の残量が少なくなったり人や車が接近してきたりといった様々な要因で、散布作業を中断する必要がある。

本モデルでは、このような不意な中断をした場合でも中断した位置から再スタートできるように機能を開発した。特に、機体の電源を一度OFFにしても記録が消えないようにしているため、周囲の状況の変化により柔軟に対応しつつ、最後まで散布を実施することができる。

・オペレータの負担軽減

本モデルには、障害物センサや対地高度センサを搭載している。これらを使い、自動飛行中に障害物を検知した場合や地面との距離が近くなりすぎた場合に、自動飛行を中断して止まる機能を開発した。

オペレータの目だけでなく、センサの目も使った周囲監視により、既存モデルよりもより負担の少ない運用を可能としている。

・常にオペレータ側にある主導権

自動飛行している最中でも、オペレータは送信機によっていつでも手動操縦に切り替えることができるようにした。そのため、直ちにオペレータが直接操縦をしなければならない事態が発生したとしても、すぐに切り替えて操縦できる。これにより、スムーズな散布飛行をオペレータが主体的に管理できる。

3-4. agFMS-IIh

agFMS-IIh (agriculture Flight Management System) は農業用途に特化させた散布エリアおよび散布ルート作成・自動飛行管理機能を統合したアプリケーションソフトウェアである(図6)。多様なユーザーに対応するため、シンプルモードとプロフェッショナルモードの2つのUIを導入した。



図6 agFMS-IIh 画面

シンプルモードは対話形式になっており、画面の指示に従うことでほ場の測量から散布まで実施することが可能となる(図7)。



図7 シンプルモード画面

プロフェッショナルモードは、目的の作業に対して最小限の操作で行えるように1つの画面(画面上部)に全ての要素を組み込んだ(図8)。また、多様な現場ニーズに応えるために、複数の散布エリアの合成などシンプルモードにはない高度な機能を搭載した。



図8 プロフェッショナルモード画面

agFMS の主な機能として以下3つを挙げる。

- 散布エリア作成
 基準局 RTK またはネットワーク RTK を用いて直接ほ場を測量する方法とデジタル地図画面上で行う方法の二種類を用意した。測量後の散布エリアの編集も可能としており、毎年変わるほ場にも対応できる。
- 散布ルート作成
 散布幅、散布速度などを設定することで散布ルートを自動生成する機能を実装した。さらに、複数の散布エリアを合成し1つ

の散布ルートとする機能も搭載している。これらにより事前に詳細な散布計画を作成することが可能となり、散布当日の作業時間を短縮することができる。

・自動飛行時の操作と機体情報の表示

飛行時には機体と画面の両方を確認する必要があるため、画面を注視せずとも必要な情報を一目で得られるような画面構成とした。

4 散布装置

自動フライト機能を効果的に活用できるように、自動散布中に散布する薬剤がなくなるとフライトが停止し、薬剤補給後に同じ位置から再スタートできるシステムとなっている。これに対応するため、自動散布用の散布装置には、タンク内の薬剤がなくなったことを検出するためのフロート式センサを搭載している。本センサは粘度の高い農薬などでも固着しないよう、専用に開発した。本センサの搭載により、ポンプの空回しによる故障抑止を実現した。

また、タンクの脱着によるエア噛みを防止するためのエアベントを設け、薬剤補給時の作業をスムーズに行えるようにした(図9)。

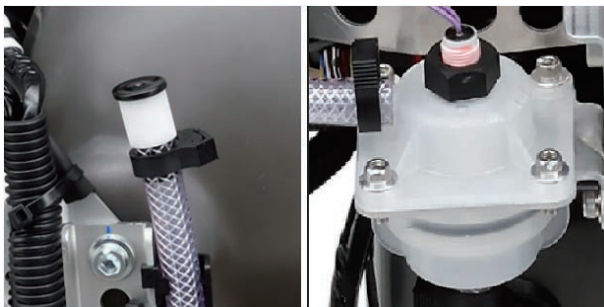


図9 剤切れ検知ユニットとエアベント

5 おわりに

「FAZER R AP」は“散布の効率化”、“オペレータの疲労軽減”、“複雑な操作を容易に実行できる誰もが使いやすいUI”の3つの価値が提供できる商品となっている。本モデルが多くの農業従事者に届き、農業を通じて皆様の生活を豊かにすることを期待する。またこれからも無人航空機の自動化・自律化を進め、新たな価値を持った商品を市場へ展開していくことが私たちの責務と捉え商品開発を進めていく。

■著者



神田 大
Dai Kanda
ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
開発部



松原 良寿
Yoshihisa Matsubara
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
ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
開発部



鈴木 健介
Kensuke Suzuki
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
ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
開発部



三宅 隆文
Takafumi Miyake
ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
開発部



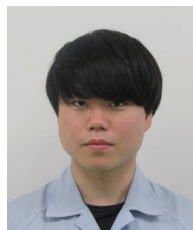
春田 祐吾
Yugo Haruta
ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
開発部



伊藤 友秀
Tomohide Ito
ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
開発部



伊藤 葉介
Yosuke Ito
ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
開発部



菅野 遼太郎
Ryotaro Sugano
ソリューション事業本部
UMS 事業推進部
開発部