

無人航空機のモデル変遷

ヤマハ発動機株式会社 ソリューション事業本部 ロボティクス事業部
UMS統括部国内営業グループ

1980年（昭和55年）頃、農林省の外郭団体である（一社）農林水産航空協会では農薬散布方法の改善を目的として、RCASS(Remote Control Splay System)の委託研究を行っていました。研究者たちは、農薬散布に使う二重反転ローター式の無人ヘリコプターを開発していましたが、エンジンの製作が進まず、プロジェクトを促進するために、ヤマハ発動機へエンジンの提供を打診してきました。ヤマハ発動機にとっては、新事業につながる可能性もあったことから、機体全体の製作を受託、これが世界初の本格的な産業用無人ヘリコプターを開発することになったきっかけです。

1983年（昭和58年）、二重反転ローター式を踏襲し、その他のところは全点新設計として新たにプロジェクトをスタートさせました。

エンジンはスノーモービル用の水冷・2サイクル・単気筒・292cc・28psを搭載し、制御系はVG(Vertical Gyroscope)、DG(Directional Gyroscope)、高さセンサ（光または超音波）によって姿勢や高度を制御する方式で開発を進めました。全体のまとま

りとしては、テールローターが不要なので、前後がコンパクトにできたが、ピッチ（前後）、ロール（左右）、ヨー（方位）コントロールが一軸に集中するため、ローターヘッド回りの機構が複雑になるというデメリットが目立ちました。RCASSの評価は、総重量が100kgを超え、構造が複雑で、操縦安定性も十分でなく、コストも相当高くなるというものであり、実用化には至らず、1987年11月に（一社）農林水産航空協会により試作機（写真1）が公表され、1988年3月、この委託研究は終了しました。

RCASSの研究開発と平行し、1985年から模型ヘリ業界大手のヒロボー（株）との協力体制のもとテールロータ付き無人ヘリの開発プロジェクトもスタートしていました。このプロジェクトにより1987年に完成したヤマハ産業用無人ヘリコプター第1号モデル「R-50（L09）」は、その年の11月に茨城県で開催された（社）農林水産航空協会主催の「産業用無人ヘリコプター展示デモフライト」に参加し、関係者が見守る中で初めて薬剤散布飛行を披露しました。産業用無人ヘリコプターは、現在



写真1.RCASS

各国で研究・開発が進められていますが、パイロード（有効積載量）20kgを有する本格的な薬剤散布用無人ヘリコプターとしては、ヤマハ発動機が完成させたエアロボット・ヤマハ「R-50」が世界最初のものとなりました。

12月より市販に向けて限定20台のモニター販売を開始、実際にモニターとして使用することにより、第1号モデルについて改善を必要とする点が次第に明らかになってきました。また、操縦技術・安全運航の指導や、整備を行う体制づくりが必要であることも痛感させられました。そこで、1988年6月、産業用無人ヘリコプターの普及ならびに販売・整備を行う販売会社としてスカイテック株式会社（現在のヤマハスカイテック株式会社）を設立しこれらの体制づくりを強化していくことになりました。

この1988年10月には、「R-50（L09）」を限定販売（写真2）、初心者でも薬剤散布をしやすくするため、ワイヤーで地上と連結して操縦を支援する

「YSC（Yamaha Safety Control）」を開発・採用して、1989年、1990年と、無人ヘリコプターによる防除の実証展示を各地で行い「R-50」のPRに努めました。一方、機体の性能面では、まだまだ課題が残されていました。

1990年4月、モニターを通じて得られた問題点を解決し、各部の信頼性を向上させた「R-50（L12）」を本格発売（写真3）。また、機体操縦の難しさを解消するため、レーザーセンサーを用いて地表との距離を計測させることにより高さ制御を実現した高度制御装置「YOSS（Yamaha Operator Support System）」を開発。1992年このYOSSは地表の凹凸を敏感に感知するという弱点等があり市場から姿を消すことになりました。

しかし改良を重ね、カーナビ用に開発された光ファイバージャイロを用いて操縦者のレベルに合わせて操作の意志を読み取るモデルフォロ잉制御を採用した姿勢制御装置「YACS（Yamaha



写真2.R50（L09）



写真3.R50（L12）

Attitude Control System)」を完成させ、1995年に市場導入。このYACSを搭載したR-50は軽量、コンパクトでありながら地上散布機に比べて圧倒的な散布効率の高さを武器に累計1,000台近い普及台数に達し、産業用無人ヘリコプターユーザーを一気に拡大した画期的なモデルとなりました。

R-50の販売・普及促進と同時に、R-50に寄せられた要望をもとにニューモデルの開発を進め1997年には新たに開発したYACSを標準装備し、取扱い性を格段に向上させた理想の産業用無人ヘリコプター「RMAX (L15)」を発売（写真4）。

開発に際しては、次の3点を重点課題としてとりあげて各部の仕様を作りこみました。まず、散布効率の徹底的な追及。産業用無人ヘリコプターの最大の売りは、散布効率です。具体的にはペイロードを実質2倍とし、散布幅を1.5倍に広げ、さらにカセット式タンク、セルスターター、発電機の搭載など散布効率・取扱いの容易さを向上させました。

ヤマハ初の水平対向エンジンを搭載し、また散布による薬剤の侵入を防ぐために全ての電装品への防滴構造化、さらにコントロール電装系には、合計10個のCPUを配して常に各部の正常な作動を監視し、万が一の故障発生の際にも異常部位を使わずに制御するなどの安全機能を採用しました。

最後に、今後への発展性を持たせることに留意。農業分野で最高の性能を示すだけでなく、今後予想される新たな用途への対応を考慮。すなわち、カメラ装置などのアプリケーションを容易に取付けできるマウント部、電装部分のモジュール化、および予備通信ポートなどです。新用途開発にともない自動飛行などの高度な制御が必要となり、それに対応するプラットフォームとしての性能を持たせることを念頭に置いていました。

ヤマハ無人ヘリの歴史の中で継続して研究・開発を続けてきた制御技術。中でもボタンひとつで自動的に離陸し、決められた飛行コースを、決められた



写真4.RMAX (L15)



写真5.自動飛行型RMAX

速度で飛行し離陸地点に自動的に戻り着陸する。このような自動飛行を行なう無人ヘリを開発することが開発当初からの目的でした。1997年4月、姿勢制御装置YACSの進化と、近年の高精度GPSの出現により実現に向けた開発が始まりました。

ベースの機体は、自律制御開発を視野に入れて開発されたタイプ。この無人ヘリには、RMAXに標準装備されたYACSに用いられる姿勢センサーに加え、方位センサー、GPSセンサーを搭載することで位置、速度などを検出し、また必要な精度を確保するためキネマティック方式のディファレンシャルGPSを採用し様々な研究機関との協力体制のもと、自動飛行可能な産業用無人ヘリコプターの開発・検証を続けその有用性を確信。

2000年、建設省土木研究所（当時）より無人ヘリコプターによる北海道有珠山の災害観測の依頼を受けて、実用化開発が一気に加速。短期間で、災害観測という使命を完遂するための様々な課題解決や専用システムの開発・評価を行い、4月には、世界初ともいえる可視外で、飛行プログラムに基づいた自動飛行を可能にした「自動飛行型無人ヘリコプター」が災害観測・調査を成功させ、その観測データがマスコミを通じてニュースに取り上げられるなど大きな成果が得られました（写真5）。

2003年3月、RMAX（L15）の各部をさらに熟成させ、新たに進化したYACSに高精度GPSを用いて自動飛行型RMAXで培ったノウハウを融合させた「YACS-G」を搭載した農業用無人ヘリコプター「RMAX Type IIG」を発売（写真6）。

オペレータの操縦疲労の低減と、正確で均質な散

布作業を実現すること、また“安心と安全”をキーワードに開発を行ないました。送信機の操作スティックを中立位置に戻せば機体速度にブレーキが加わり、ホバリング状態となる機能を追加、また送信機のスティックを一定位置で保持すると速度が一定になる機能を開発。

このモデルが産業用無人ヘリコプターの汎用性をさらに広げ、日本の農業がかかえる農業生産者の高齢化と後継者不足、農村構造の多様化や混住化による航空防除の補完、農産物の低コスト化など、様々な問題の解決に寄与できることを期待しています。

2013年11月、高出力・操作性・安全性向上の新世代機「FAZER」を発売（写真7）。燃料噴射（FI）方式を採用し、始動性の向上と低燃費を実現しつつ環境にも配慮した無人ヘリコプター専用の水冷4サイクル390ccエンジンを搭載。新制御システム（YACS II）の採用、速度維持飛行（オートクルーズ）機能を搭載し初心者から上級者まで狙い通りの散布が可能となりました。シンプルでわかりやすいワーニングランプ表示の採用などにより、安全かつオペレーターに優しいモデルを目指しました。



写真7.FAZER



写真6.RMAX TypeIIG

FAZER R仕様諸元

項目		仕様
製造型式		L31
性能	実用距離(目視範囲)	150mまで
	制御システム	YACS II (YAMAHA Attitude Control System-
操作寸法	メインローター径	3,115mm
	テールローター径	550mm
	全長・全幅・全高	3,665mm・770mm・1,078mm
	取扱重量 ※	71kg
エンジン	種類	4サイクル・水平対向2気筒
	排気量	390cc
	最高出力	20.6kw
	始動方式	セルスターター式
燃料		レギュラーガソリン

※ 設計図面による寸法のため実計測では±10mmの計測誤差があります。

※ 取扱重量とは、オイル・燃料満タンの機体にL59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です。

項目		仕様
液剤散布装置32ℓ/24ℓ	型式	L46
	カセットタンク容量	16ℓ×2/12ℓ×2
	吐出方法	ギヤ方式ポンプ・フラットタイプノズル
	吐出量	サイドノズル 1.3～2.0ℓ/分(速度連動方式)、 センターノズル 0.65～1.0ℓ/分(速度連動方式)
	ノズル間隔	1,434mm
	装置重量	7.9kg(16Lタンク×2搭載時)

項目		仕様
粒剤散布装置30kg/20Kg	型式	L48
	ホッパー容量	15kg×2/10Kg×2
	吐出方法	スピナ方式(直径300mm)
	吐出量	2.5kg/分
	インペラ回転数	720rpm
	装置重量	7.6kg (15kgホッパー×2搭載時)

図1

2016年10月、航空機製造事業法（2014年4月改正）の無人ヘリの総重量の規制が100kg未満から150kg未満へと緩和され、さらにペイロードアップした最新モデル「FAZER R」を発売（写真8）。2018年モデルには散布スイッチのオンオフで一定間隔のターンができるターンアシスト機能を標準装備し、操縦簡素化と散布精度のさらなる向上が可能になりました（図2）。



写真8.FAZER R

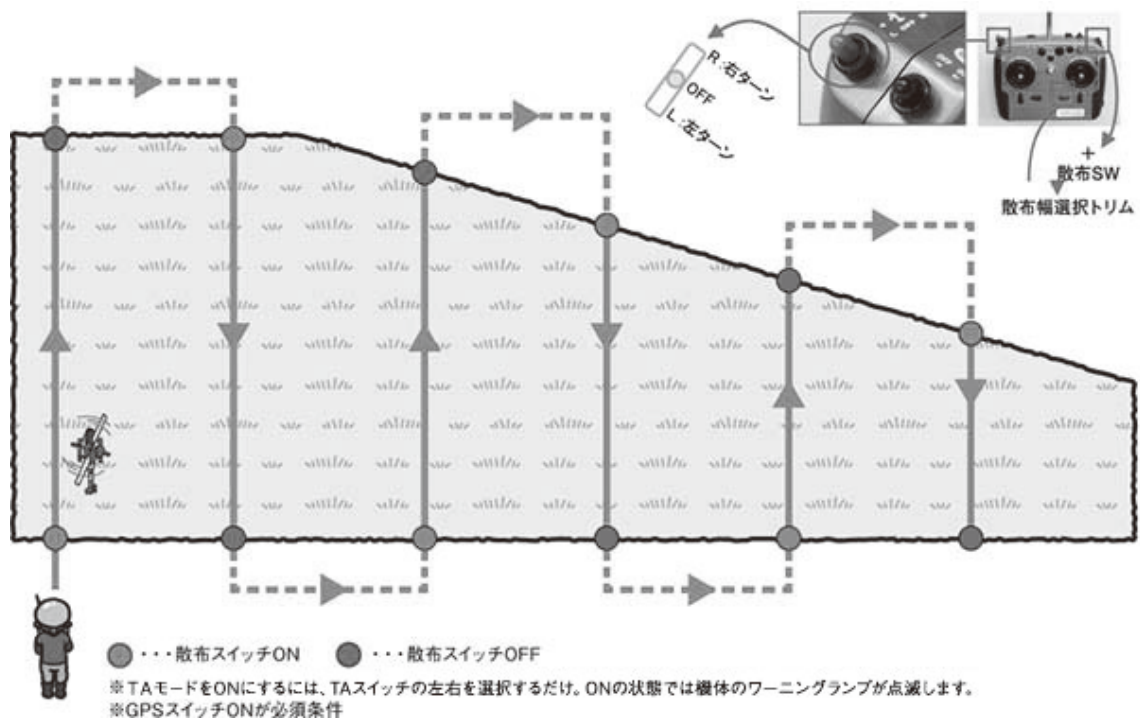


図2

2018年6月、二重反転ローターを採用しダウンウォッシュによる優れた散布品質と、軽量カーボン製ボディにより、1回のフライトで1ヘクタールの連続散布を実現する産業用マルチローター（通称ドローン）「YMR-08」を発表（写真9）。

「YMR-08」は、1フライトあたり1ヘクタールの連続散布を15分で完了することをコンセプトに開発。散布品質はもとより、操作性や作業性、そして安全性を実現するためバッテリーおよびモーターも専用開発し、農業の現場のプロユースにも耐える性能を実現しています。



写真9.YMR-08



写真10.YMR-08での薬剤散布

農業分野での利用状況

1989年シーズンより実用が始まった無人ヘリは、それまでの航空防除の主流であった有人機の散布から代替するかたちで普及が進み、2003年には無人ヘリによる散布面積が有人機の散布面積を逆転し、現在は述べ散布面積約100万ha、登録台数約2800機、資格保有者約1万人にまで普及しています（図4、5）。

また2016年頃より市場に現れたマルチローター（ドローン）は無人ヘリでは対応しにくい狭小圃場や飛び地、動力噴霧器や乗用管理機に代わる防除

機として普及が進み2018年シーズンには登録台数1100台余り、資格保有者3800人余りとなっています。

作物別では、水稲用が約9割ですが使用場面は殺虫殺菌剤散布だけでなく播種、除草剤、追肥にも広がっています。水稲以外の他作物では麦、大豆の農薬散布に利用されています。今後はドローンの登場で注目を浴びている航空防除において無人航空機に使用できる農薬種類が増えれば果樹や野菜の散布にも広がっていくものと期待されます（図6）。

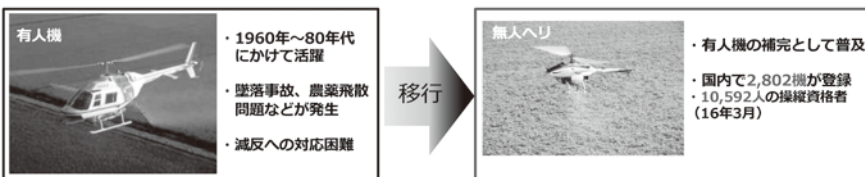
（ヤマハ発動機HPより抜粋、加筆）

主要諸元

機体	
機体名称	YMR-08
最大離陸重量 (kg)	24.9以下
ローター枚数	8
ローター配置	4X+サイド二重反転
フライト時最大全幅 (mm)	2181
フライト時最大全長 (mm)	1923
全高(mm)※最大離陸重量目安	669
収納時最小全幅(mm)	1799
収納時最小全長(mm)	559(フレーム部) 573 (スキッド部)
フレーム形式	モノコックシェル
アーム収納形式	ストレート
ロータ	
ローター径 (inch)	26
ローター形式	ハイブリッドローター
機体電力・バッテリー	
平均消費電力(kW)	2.5
バッテリー定格容量 (Wh)	852
定格電圧 (V)	44.4
サイズ (mm)	L : 360 W : 149 H : 166
バッテリーマネジメントシステム	HBMS-SL1*
※ハイパワーバッテリー用マネジメントシステム	
充電器	
充電時間 (時間)	通常充電 : 2.5 急速充電 : 1
液剤散布装置・性能	
液剤散布装置名称	SP1-10
散布性能	
最大タンク容量 (ℓ)	10
ノズル数	2
散布幅 (m)	4
散布速度 (km/h)	10~20

図3

産業用無人ヘリの普及（水稻）



散布面積（千ha）

水稻散布面積の推移

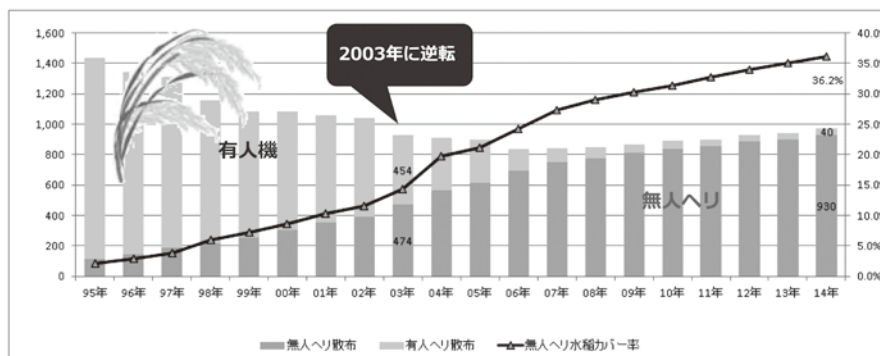


図4

無人ヘリコプター 散布実績

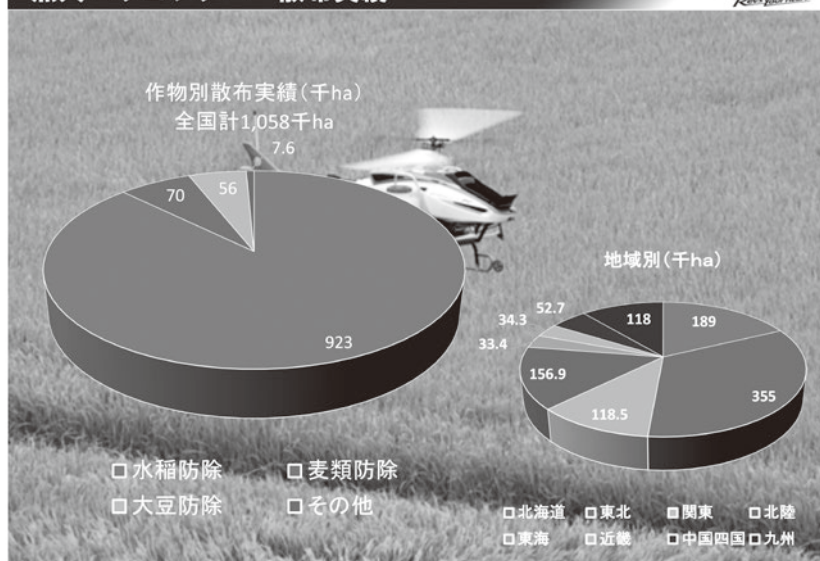


図5



※地域によって作業時期は異なりますのでご注意ください。

図6