

無人ヘリコプタ RMAX

Utility Remote Control Helicopter RMAX

金丸恭宏 Yasuhiro Kanamaru
鈴木弘人 Hiroto Suzuki
松田篤志 Atsushi Matsuda

鈴木昭彦 Akihiko Suzuki
佐藤彰 Akira Sato
中村克 Katsu Nakamura

田中紀彦 Norihiko Tanaka
坂本修 Osamu Sakamoto

●スカイ事業部



図1 RMAX

1 はじめに

R50（図2）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1000台に近い普及台数に達することができた。R50を導入機と位置付け、さらなる普及をはかるためRMAX（図1）を開発した。



図2 R50

2 開発の狙い

開発に際しては、R50に寄せられた要望を十分配慮し、次の3点を重点課題としてとりあげた。

まず散布効率の徹底的な追求を行った。無人ヘリコプタの最大の売りは、散布効率である。具体

的にはペイロードを実質2倍とし、散布巾を1.5倍に広げることで基本諸元を大幅に向上させた。さらに、カセット式タンク、セルスタータ、発電機の搭載及び制御装置の標準装備により取扱い性も格段に向上させた。

次に考慮したのは、信頼性の向上である。飛ぶものであることから要求される信頼性は、非常に重要である。前モデルが振動により苦労した経験を踏まえ、水平対向エンジンの採用と常用回転数を前モデルの2/3に押さえた仕様とした。また、散布による薬剤の侵入を防ぐため、全ての電装品に防滴構造を採用した。更に安全性を高める目的でコントロール電装系には、合計10個のCPUを配し、常に正常な作動を見張ると共に一部二重系を採用している。

最後に、今後への発展性を持たせることに留意した。農薬散布市場で最高の性能を示すだけでなく、今後予想される空撮等の新たな用途への対応を考慮した。すなわち、カメラ装置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ある。新用途にともない自動飛行などの高度な制御が必要となる。それに対応する、プラットホームとしての性能を持たせることを念頭に、仕様をつくりこんだ。

3 エンジン関係

ヘリコプタにとって、振動はすべてのトラブルの原因となる。加振源の大きな要因であるエンジン振動を極力減らすため、水平対向形式を選択した。主要諸元を表1に、エンジン全体を図3に示す。主要部品の特徴は次のとおり。

表1 エンジン主要諸元

形 式	2サイクル水平対向2気筒
排気量 (cm ³)	246
内径×行程 (mm)	56×50
圧縮比	7.3
最大出力 (kW/rpm)	15.4 / 6250
最大トルク (Nm/rpm)	25.4 / 5500
冷却方式	水冷
始動方法	セル
点火方式	CDI
燃料	混合ガソリン(50:1)

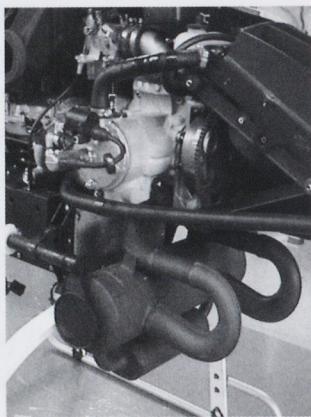


図3 エンジン全体

3.1 クランク

センターウェブの両側にクランクピンを一体で設ける、セミ一体組み立てクランク構造とした。水平対向エンジンの場合、最大の加振力である慣性偶力を減らすため、また2気筒を2個のセンターベアリングで支持するためクランクの変形を抑えるためにも、気筒間隔を短くすることが重要である。参考までに、図4の状態で重量は2200gである。

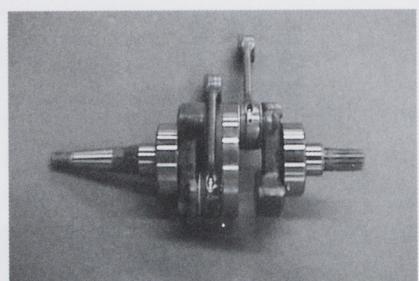


図4 クランク

3.2 シリンダ

軽量化と剛性向上のため、シリンダ部とクランクケース部を一体構造とした。さらに、左右気筒を共通化するため反転して使用している。このことにより、シリンダーケースが一つの型で製作できる。少量生産エンジンにとっては、有効な手段である。またメッキシリンダとし、軽量化と冷却性を向上させている(図5)。

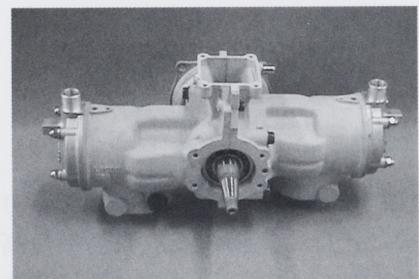


図5 シリンダ

3.3 排気まわり

このエンジンは、左右気筒同時爆発であり、さらに左右気筒でクランクケースを共用している(1キャブレタ、ケースリードバルブ方式)。そのため混合気の分配は左右気筒の燃焼状態の影響を受けやすい。したがって排気系は一体構造でありながら、内部は完全に左右で独立している。機体中央部に大きなスペースを作り出すためと、電子機器への排気熱の影響を少なくするため、エンジン下側にコンパクトにまとめてある(図6)。

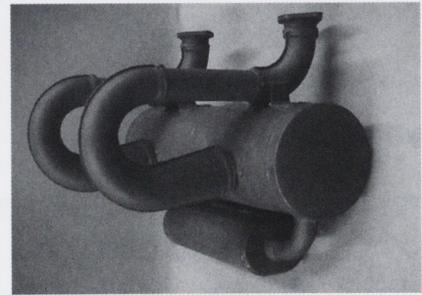


図6 マフラ

4 メインローターおよびメインローターヘッド

メインロータとメインロータヘッドは、ヘリコプタを空中に吊り上げるための揚力を発生すると同時に、移動させるためのコントロールの機能も要求されている。

4.1 メインロータ

メインロータはFRP製であるが、ヘリコプタ独特の構造を有するために製造方法は船舶等の製法と異なり、専用の金型を用いて、バキューム製法にて作られている。ブレード断面構造を図8に、全体を図7に示す。これに用いた翼型は、人力飛行機用に開発された低レイノルズ数域専用翼型を、RMAX専用にモディファイしたものである。



図7 メインロータ

4.2 ロータヘッド

メインロータを取り付けるロータヘッドは、複雑なリンク機構を有している（図9）。ヘッド方式には、揚力を変化させるコレクティブピッチ（2枚のロータピッチを同時に変える）機構と、ロータ面を進行方向に傾けるサイクリックピッチ機構が混合されている。また、ベルヒラー方式と呼ばれるラジコンヘリコプタで用いられるものと同じものを使っている。ロータヘッドには、ロータとは別に、スタビライザと呼ばれる舵面が設けてあり、このシーソー運動がサイクリック機構へミキシングされて、ヘリコプタの安定と操縦の両方の手助けをしている。

スタビライザの安定機能は、姿勢制御で言うところの角速度フィードバックを担っている。これは、緊急時姿勢制御をOFFした場合に、最小限人間が操縦可能なレベルを確保できるようにセッティングされている。

RMAXは、制御フライトイが基本であるため、将来制御機器の信頼性アップとともに不必要的機構になりつつある。

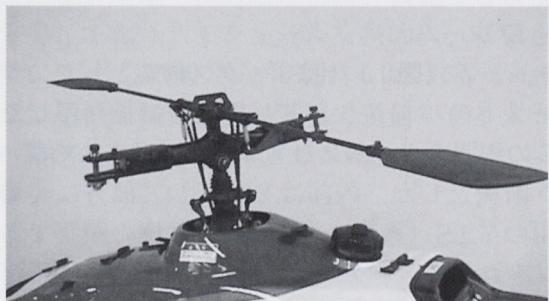


図9 ロータヘッド

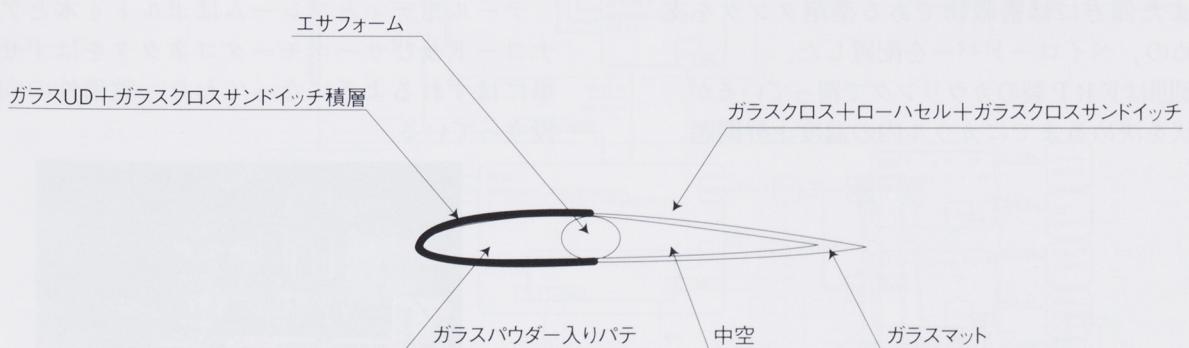


図8 メインロータ断面構造

5 機体関係

5.1 ミッションケース

クラッチは重量とサイズを考慮し、乾式とした。エンジンのクランク軸が機軸方向であり、メインロータを回すには回転方向を90度振らないといけないので、一度ペベルギアで減速しながら軸の回転方向を変え、もう一度平ギアで減速する2段減速方式をとった。

ミッションケース（図10）は3分割と複雑にはなったが、全体としてコンパクトに仕上がり、R50に比べ剛性は上がり、重量は軽くなった。もう一つの特徴として、本機の水冷エンジン本体にはウォータポンプがないため、ミッションケースに付けることとなった。

出力はクラッチの後ろから平ギアで取り出した。従って、クラッチがつながるまではウォータポンプは回らず、アイドリングの間は自然循環となっているが、オーバーヒートはしない。このウォータポンプを回す軸を延長し、テールロータの出力軸とした。

5.2 フレーム

フレーム（図11）はボックス構造とした。ダイキャストのバルクヘッドと押出し材を利用した骨組みの周囲をカーボンとアルミ板のパネルで覆い、セン断板とした。内部は2分割し、前方に姿勢制御用のYAS（後述）、後方には本機の頭脳であるコントロールボックスを収納した。

フレームの前上方の3点でエンジン、ミッションを支え、後上方には燃料タンク（6.4L）を配置した。また側方には搭載物である薬剤タンクを支えるための、ペイロードバーを配置した。

その周囲はFRP製のカウリングで覆っているが、最終形状を決めるまでにカウル内の温度上昇問題、

遠くからの視認性、ヤマハらしいカッコよさの追及等結構苦労した。

5.3 脚構造

基本はR50を踏襲したが、細かな点で改良している。まず取扱いの改良のため、ランナ（接地部分）の前後を曲げて持ちやすくした。全備重量が増えたので、FRP製のリーフの断面の縦横比を変更し、重量を増やすことなく強度を増した。地上での共振を最小にするため、リーフの曲げ形状を少し変更した。

それでも、地上共振並びに、フライト中の脚部分の振動が収まりきれなかったので、フレームとリーフの取付け部分を工夫し、リンク構造とゴムダンパーで振動を吸収できるようにした。

5.4 テールボディ

テールボディはR50と異なり、全てカーボン繊維で一体成形している。製法は内圧成形を用いている。つまり、雌型を上下2分割とし、それぞれにカーボン繊維のプリプレグを敷いておいて、上下を合わせ、内側にナイロン製のバックを挿入し内圧をかける。そうすると、外表面のきれいな中空の製品ができる。但し、型の合わせ目にだけバリができる。また、外側には視認性と製品性の向上のためのシートを貼っているが、耐農薬性のある材質で伸びが悪く、外表面がなめらかすぎてエア抜き性も悪く、大変苦労をしている。テールボディの前方にはフレームとの接続と、テールロータ駆動用前方ブーリーを回すための中間ミッションの支持の目的で、板金製の小フレームを取付けてある。

テールボディとフレームはボルト4本とアンテナコード及びサーボモータコネクタをはずせば簡単にはずれるようになっており、整備性の向上に役立っている。

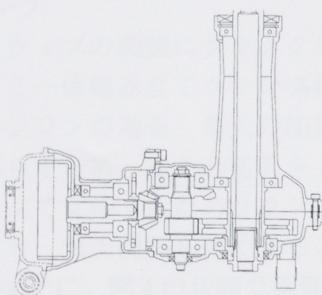


図10 ミッション

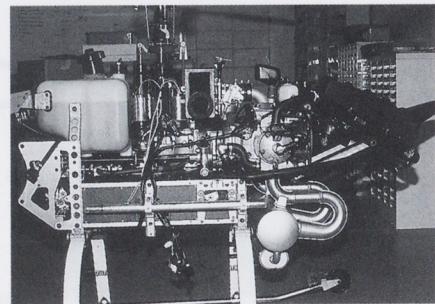


図11 フレーム

6 電装関係

送信機から発信された無人ヘリの操縦信号を、レシーバが受信し、制御の中核である制御(YACS)基板へと送られる。ここでは、姿勢センサ(YAS)からの情報をもとに機体の制御計算を行い、その指令をサーボアンプへ伝え、サーボアンプは機体の各サーボモータを駆動し機体が動作する(図12)。

6.1 信頼性の向上

制御計算部、操縦信号の伝達系を二重化し、システムの故障時等に対応できるようにしてある。また、無線通信区間の信頼性をあげるために、従来の模型ベースの通信形態を止め、ヤマハでの専用設計をおこなっている。すなわち、情報内容、ハード構造をシンプル化して、高速化、安定化を図っている。さらに、システムの細かい部分まで、機体の暴走に入らないような細かい配慮を行っている。

また、フライト中に機体の状態をモニターすることにより、操縦者に対して安心感をあたえることができる。RMAXでは、燃料残量、バッテリ電圧低下、電波状況の悪化、積載量オーバー等を、LEDの点滅等で、速やかに操縦者に知らせることができる。これにより、万一異常が発生した場合でも、操縦者はすばやく対応ができ、未然に事故を防ぐことができる。

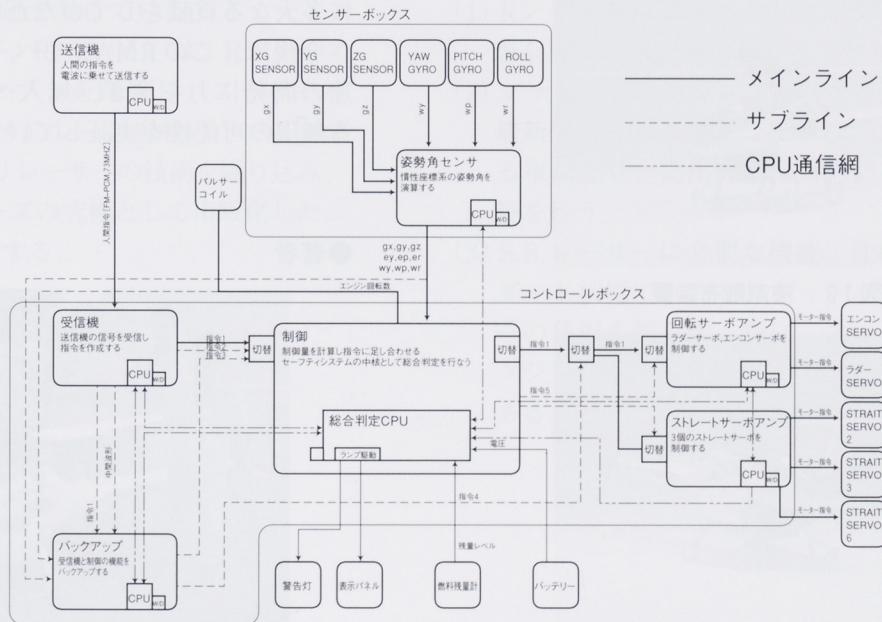


図12 電装システム

6.2 操縦性と安定性を両立させた制御

農薬散布のフライトにおいては、狭い圃場や電信柱などの障害物のため、操縦者の思いどおりにすばやく機体が反応することが必要である。しかしながら、風等の外乱には動かないよう安定しているなくてはならない。この操縦性と安定性の相反する性能を両立させるため、モデル追随型制御をおこなっている。すなわち、操縦者が操作したときに動く理想の動きを応答モデルにして、それを目標とした制御をおこなっている。

また、この応答モデルは、作業の条件、操縦者の技量に応じて、3段階変化させれるようにしている。これにより、誰でも、どこでも、どんなときでも最も適した機体特性でフライトをおこなうことができる。

なお、使用しているセンサ、制御ハード類についても最新のものを使用しており、精度・高速性を追求し、制御性についてもR50よりも安定性が向上している。

6.3 発展性への考慮

今後の新用途への対応のため、機能ごとに基板が分化しており、モジュール交換的に、基板を変更することで、機能アップを図れるようになっている。

また、基板間はシリアル通信で通信できるようになっていて、情報のやりとりが簡単にできる。

7 散布装置

7.1 液剤散布装置（図13）

従来より液剤は殺菌剤、殺虫剤、除草剤の散布に利用されているが、年々散布面積が拡大していくと更なる作業の効率化や、使いやすさの向上が求められる様になった。

まず、効率化では、ヘリが地上にいる時間を短くすることが必要であり、従来比2.4倍の24Lの薬剤を積込む作業を考えると、カセットタンクの開発が必要であった。薬剤に触ることなく漏れずにワンタッチで脱着できるジョイントとして、タンク側、受け側ともプッシュ・ツウ・コネクト方式を採用し作業の容易さも狙った。

また、飛行間隔を広げることで散布時間を短縮できるので、従来比1.5倍の7.5mとし（5mも選べる）散布時間を3分の2にした。

次に、使いやすさでは、圃場による散布巾の変更や作物の種類による散布量の変更は、ノズルの交換とポンプ吐出量ボリュームの変更のみで可能であり、何れもワンタッチができる。また、機体への脱着性向上や、ショートブームによる小型化及びドリフト減少も折込んだ。

尚、散布量は1ヘクタールあたり8Lから50Lであり、吐出性能は標準仕様で2L/min、最大で2.6L/minである。



図13 液剤散布装置



図14 粒剤散布装置

7.2 粒剤散布装置（図14）

粒剤は殺菌剤、除草剤、直播（田植えの代わりに直接糞を撒く）、及び施肥に利用されている。

液剤と同じくジョイント部がキーポイントであった。粒剤の場合、液剤と同形式のコネクタは使えないため、手動のスライドシャッタを備える。飛行間隔は7.5mを標準とし（5mも選べる）、レバーで散布量の変更を、ボリュームでスピンドル回転数を変え散布巾の変更もできる（除草剤を適所に散布するため）。また、使いやすさ向上のため、中身が見える半透明ホッパ、肥料に対する防錆、小雨時の防水性を折込んでいる。

尚、散布量は1ヘクタールあたり殺菌剤なら10kg、直播なら120kg、施肥なら300kgと範囲が広く、標準仕様で殺菌剤を2.5kg/min、直播なら25kg/min散布できる。

8 おわりに

無人ヘリコプタの開発は、エンジン、機体関係はもとより、空気力学、FRP技術、制御技術、通信、電波など非常に多岐の分野の技術が必要となる。これらを、技術の全てのメンバーが、それぞれの担当分野に責任と自信をもって、開発をおこなうことができた。また、制御技術室の杉田正夫さんならびに善野徹さんには、電装系、制御系の開発に多大なる貢献をしていただいた。

今後は、このRMAXをベースにして、新しい用途の開発に力を注ぎ、無人ヘリコプタがもつていてる無限の可能性を実証していきたい。

●著者

