

無人ヘリコプタの開発と その利用状況

ヤマハ発動機株式会社 スカイ事業部
佐藤 彰

2005. 3.3 「小型無人航空機の現状と科学観測への応用に関する研究会」

はじめに

ヤマハ発動機（以下当社と呼ぶ）では、1983年より農林水産航空協会より委託をうけ、農薬散布用の無人ヘリコプタの開発に着手した。1989年には世界ではじめて無人ヘリコプタの量産化に成功し、2002年12月末現在において、日本全国で1,281機の機体が農薬散布用に使われている。この無人ヘリコプタをベースにし、1998年より、GPSセンサを用いた自律型の開発に着手した。2000年4月には、有珠山の火山観測に成功し、国内外に無人ヘリコプタの可能性を認知させることができた。

本文では、当社における無人ヘリの開発経緯を振り返りながら、無人ヘリコプタの技術的特徴をのべる。また、その利用状況において、今までの実績と将来の可能性をあわせてのべる。

1. 無人ヘリコプタの紹介

1. 1 開発の経緯

図1に当社における開発の経緯を示す。

当初、二重反転型の無人ヘリコプタの開発に着手したが、機構の複雑さと不安定さにより、その実用化は断念した。その後、シングルロータ型の無人ヘリコプタ実用化に成功した。そして、高度制御装置、姿勢制御装置の開発もおこない、操縦性・安定性の向上に寄与することができた。これにより、ラジコンヘリコプタの経験のない人でも、約10日間の教習により、フライトでき、操縦免許をとることができるようになった。

GPSセンサの出現により、速度および位置が容易に検出できるようになったため、自律型無人ヘリコプタの開発に着手した。開発した当初は、地球環境観測をおこないながらその実用化の可能性をさぐっていた。2000年3月29日に北海道有珠山が23年ぶりに噴火した。建設省土木研究所（当時）より依頼をうけ、現地で主に噴火堆積物の観測をおこない、被災者の早期帰宅に寄与することができた。これにより、自律型無人ヘリコプタの有用性を内外に知らせることができた。その後、いろいろな方面より自律型無人ヘリコプタの利用に関する問い合わせがきている。また、2003年3月には、最新型のRMAX type IIを発売し好評を得て、6月現在で300機以上の受注をうけている。

- ・1983年 社団法人 農林水産航空協会より
研究開発受託
- ・1986年 **二重反転機(RCASS)**研究開発終了
- ・1989年 **R-50 (L12)**型販売開始
1) **YOSS**(高度制御装置)開発販売
2) **YACS**(姿勢制御装置)開発販売
- ・1998年 **RMAX** 販売
(姿勢制御装置搭載)
- ・1999年 **自律RMAX**による地球環境観測
- ・2000年 **自律RMAX**による
有珠山火山観測、地球環境観測
- ・2001年 **自律RMAX**納入
(北海道開発局)
- ・2003年 **RMAX Type II** 販売開始



二重反転機(RCASS)



R50



RMAX



自律RMAX



RMAX Type II

図 1 開発経緯

1. 2 無人ヘリコプタの3つの分野

当社では、その運用により3つの分野に無人ヘリコプタを分類している。(図2)

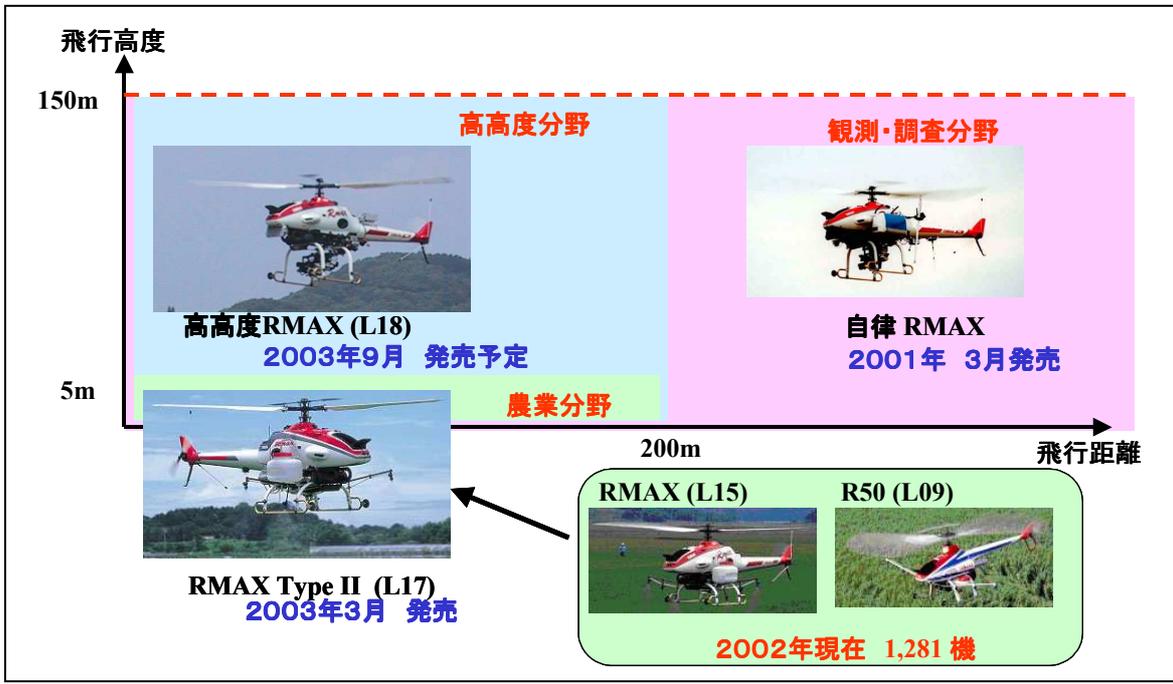


図 2 ヤマハにおける無人ヘリコプタの3分野

2. 農業分野

2.1 仕様諸元

R50型とRMAX型の無人ヘリコプタの仕様諸元を図3に示す。

RMAX型は実用ペイロード30kgを有し、薬剤を約24リットル搭載することができる。これにより、約3ヘクタールの水田を、約30分で散布することができ、（条件により時間は変動する）散布の効率はR50型に比べて飛躍的に増加した。

		RMAX	R-50
性能	ペイロード	30kg(海面上、35°C)	20kg(標準大気)
	飛行時間	60分	30分
	高度方向	100m(目視限界)	
	水平方向	150m(目視限界)	
機体	メインローター径	3,115mm	3,070mm
	テールローター径	545mm	520mm
	自重	65kg	44kg
	全長	3,630mm	3,580mm
	全幅	720mm	700mm
	全高	1,080mm	1,080mm
エンジン	種類	2サイクル水冷水平対向	2サイクル水冷単気筒
	排気量	246cc	98cc
	出力	21ps	12ps
	始動方式	セルスターター	外部スターター
	燃料	混合(50:1)	混合(15:1)

図3 仕様諸元

2.2 RMAX type II

新型 RMAX type II の最大の特徴は、安定性と操縦性にすぐれた制御システム (YACS-G) を搭載している点である。これは、従来の RMAX で搭載されていた姿勢制御システム (YACS) に GPS センサを装備することにより、実現した。これにより、誰でも容易に無人ヘリコプタを操縦することが可能になった。



図4 RMAX type II

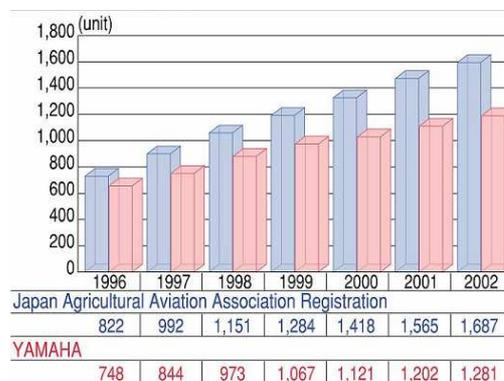


図5 無人ヘリコプタの登録台数

2.3 農業分野での実績

図5に示すように、農業分野における無人ヘリコプタの利用は、毎年増えつづけ、2002年12月末において全国では1,687機が登録されている。この中で当社の無人ヘリは1,281機であり、約80パーセントのシェアを確保している。またこれにともない、全国で延べ散布面積では、465,000haに達し、10パーセント以上の水田が無人ヘリコプタにより散布されている。また、無人ヘリコプタの操縦免許を有する人も、約8000名におよぶ。

3. 高高度分野

3.1 システム構成

高高度 RMAX は、RMAX type II をベースに、高高度飛行をおこない、空撮をおこなえるように改良された。そのため、安定性のさらなる向上とカメラ装置、地上局が追加された。具体的には、安定性向上のための GPS センサの高性能化、サブラジエーターの追加がある。また、カメラ装置搭載のための発電機の大容量化、ロングスキッドの採用などがある。そして、搭載カメラの画像を確認するために、地上側に画像モニタやカメラコントローラを追加し、ヘリコプタの位置や速度、姿勢などを地図上で確認するためのモニタも設置した。



図6 高高度 RMAX のシステム構成

3.2 用途

高高度用 RMAX は、主には空撮に用いられるが、生育観測などにも使われている。この生育観測は、作物の葉色を位置情報とともに空中から遠隔測定して、葉色マップを作成する。これにより、生育を診断し、追肥や農薬散布を効率的に行なおうというものである。



図7 生育観測とその葉色マップ

4. 調査・観測分野

4. 1 自律 RMAX の特徴

無人ヘリコプタには固有の不安定さがある。その無人ヘリコプタを可視外に飛行させて必要な情報を得るため、自律型無人ヘリコプタには以下の技術的特長をもつ。

(1) 1 m以内の精度で飛行できる高度な制御

- ・ GPS とジャイロのセンサフュージョンにより正確な位置と速度の推定
- ・ 運動解析より計算した理想モデルを用いてのモデルフォロ잉制御

(2) 誰でも操縦可能の簡易な操縦

- ・ パソコンのマウスによる操縦指令
- ・ パソコン上で簡単に指令できるプログラム飛行

(3) 高い信頼性

- ・ 電波が途切れた時には自動帰還可能

4. 2 システム構成

自律型無人ヘリコプタのシステム構成を図8に示す。

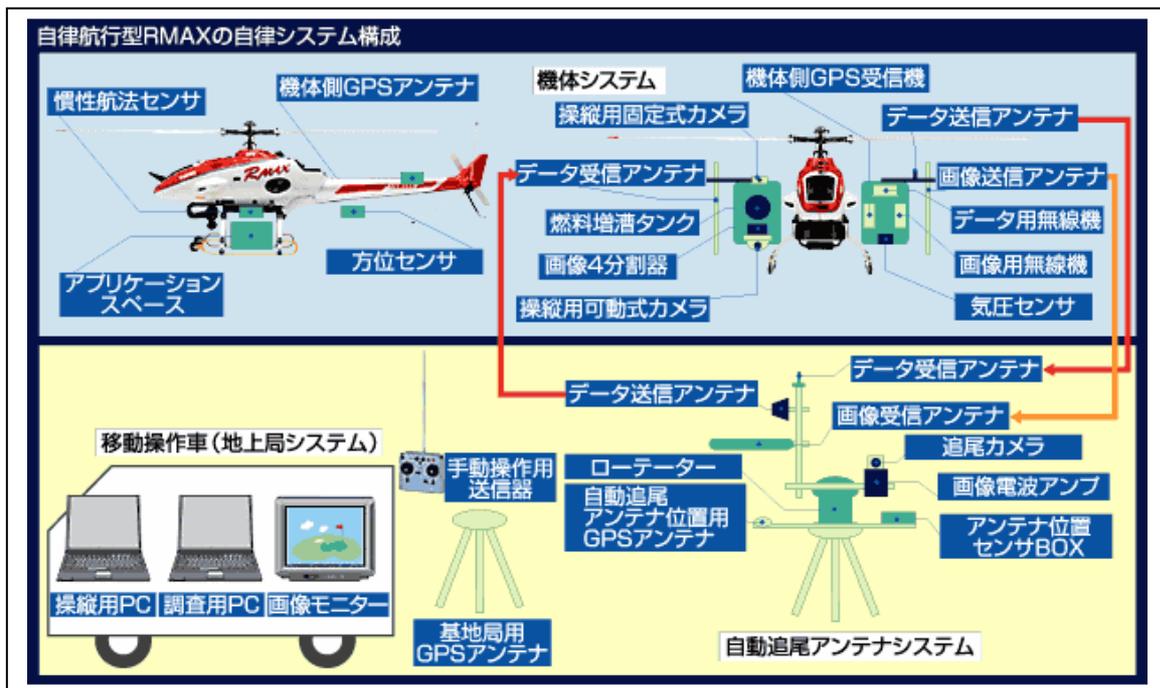


図8 自律型無人ヘリシステム

機体側には、姿勢センサ、GPS センサ、データ用通信モデムと画像用通信モデムおよびカメラ装置を搭載している。姿勢センサは、地磁気センサと3つのレートジャイロ、3つの加速度計により構成され、機体の姿勢角と方位角を検出する。GPS センサにより位置と速度を検出するが、必要な精度を確保するために、キネマティック方式

のデファレンシャル GPS を採用し、姿勢センサとのセンサーフュージョンをおこなっている。データ用通信モデムは地上側から機体側へ GPS の補正データや操縦指令およびカメラ装置への指令を送信している。また、機体側から地上側へは、ヘリコプタの位置や速度、姿勢などの情報を送信している。機体には4つのカメラが搭載されていて、これらの画像は画像用通信モデムにより、地上側へ送られる。

地上側には、補正用 GPS センサ、通信用モデム、3つのモニターおよび機体操縦用のコントローラ、カメラ操作のジョイスティックが設置されている。3つのモニターは、機体へ操縦指令を与えるモニター、機体からの情報を表示するモニターおよびカメラの画像を表示するモニターである。

図9に、現在開発中の自律 RMAX type II を示す。これは、高速フライトを実現するために改良された。軽量化と空気抵抗を減らすために、左右にある2つのサイドボックスを一つのボックスに集約して、機体の後部に設置した。重心のバランスをとるために、操縦用カメラは機体の前方においた。このカメラには、機体の振れを低減するための安定装置がつけられている。また、カメラと連動したレーザー距離計により、映像までの距離を測定することができる。



図9 自律 RMAX type II

4.3 制御系

制御系は図10に示すように、誘導制御、上位制御、下位制御の3つの部分に分かれている。誘導制御は地上局でおこない、オペレータとのインターフェース部分である。上位制御は、機体のサイドボックス内に置かれているコントローラでおこなわれる。下位制御は機体本体に内蔵されているコントローラでおこなわれている。

(1) 誘導制御

誘導制御ではメインオペレータ、サブオペレータ、バックアップオペレータの3名により、指令がおこなわれる。メインオペレータが、パソコン上でマウスをもちいて、経路指令を入力すると位置指令に変換されて、上位制御におこなわれる。また、メインオペレータはパソコン上で直接、位置指令や速度指令をおこなうことができる。サブオペレータは、ベースコントローラをもちいて、速度指令を上位制御に、姿勢指令を下位制御におこなう。バックアップオペレータは、上位制御に何らかの異常がみられたときに、直接下位制御に姿勢指令をおこなう。

(2) 上位制御

上位制御では、誘導制御から与えられた位置指令を速度指令に変換する。この速度指令にもとづき、GPS、姿勢センサの信号をもちいて速度制御をおこなう。この速度制御では、位置、速度が目標値と一致するような目標姿勢角を計算し、下位制御に指令をだす。

また、上下の速度指令では、速度制御により目標速度に一致するような上下の加速度指令を計算し、下位制御におこなう。

(3) 下位制御

下位制御では、上位制御からの目標姿勢角および目標上下加速度の指令を用いて、姿勢制御と上下加速度制御をおこなう。また、エンジン回転センサによりエンジン回転数を検出して、エンジン回転数が一定値になるように制御している。これにより、位置、速度、および姿勢、エンジン回転数の制御がおこなわれ、ヘリコプタはオペレータにより指示された動きを正確におこなうことができる。

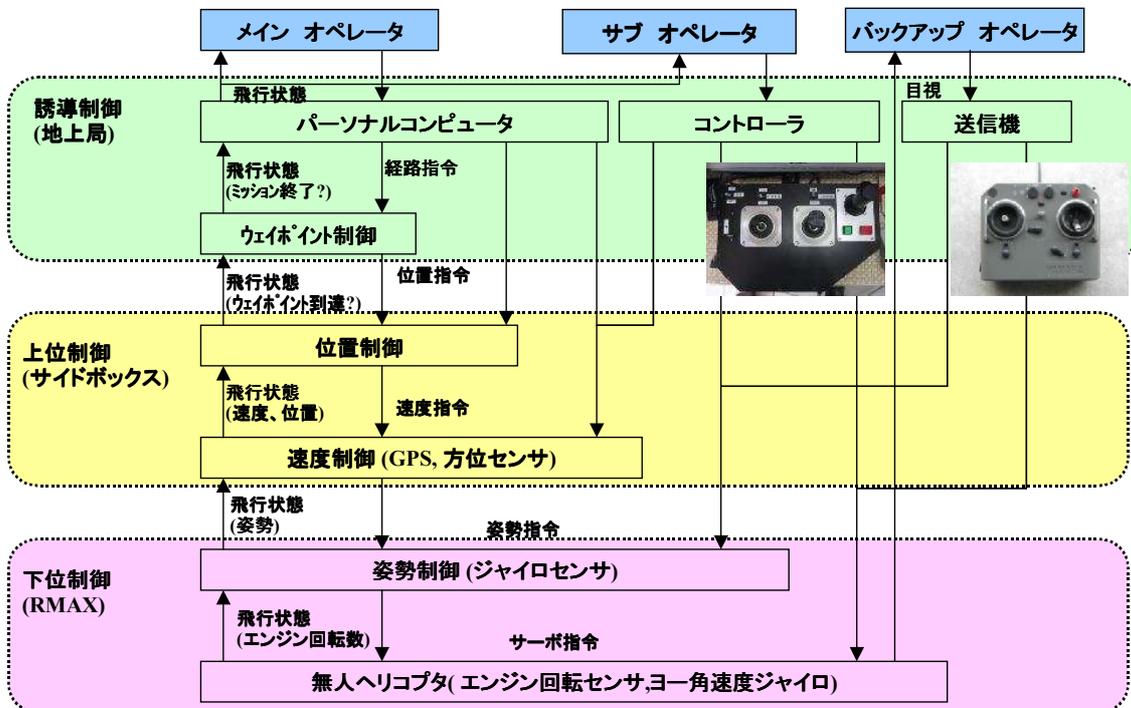


図10 制御の階層構造

4. 4 国内での実績

(1) 国土保全

2000年4月におこなった北海道有珠山の他にも、東京都庁の依頼をうけ2001年2月には三宅島の火山観測をおこなった。それらの実績より、2001年3月には北海道開発局に災害観測用途として、自律型無人ヘリの導入がおこなわれた。



有珠山での火山観測



三宅島での火山観測

(2) 環境観測

1999年4月、千葉大学環境リモートセンシング研究センターと宇宙開発事業団に自律型無人ヘリを納入し、それ以降モンゴル国や北米大陸、東南アジアでの植生調査に利用されている。

(3) 生育観測

1998年より、稲作の効率的な育成をおこなうために、稲の葉色を位置情報とともに、空中から遠隔測定する研究をおこなっている。

(4) その他

1992年より2000年まで東京工業大学とファジー制御に関する共同研究をおこなった。また、2000年からは京都大学とニューロ制御に関する共同研究をおこなっている。これらにより、新しい制御理論の実用化に関して、実験をおこない、その可能性について貴重なデータがつけられている。

4. 5 海外での実績

(1) 大学・研究機関での利用

現在欧米では、無人ヘリコプタを用いた自律制御の研究が活発におこなわれている。当社の無人ヘリコプタは、その研究用プラットフォームとしてもちいられている。アメリカの大学では、1995年より、カーネギメロン大学が画像を用いた制御の研究をおこなっている。また、ジョージア工科大、UCバークレー大学なども自律制御の研究をおこなっている。また、ヨーロッパの大学でも、2000年にはスウェーデンのリンショピンコ大学が無人ヘリを用いた交通監視の実用化を目指して研究をはじめた。また、研究機関ではアメリカ航空宇宙局(NASA)が当社の無人ヘリを用いて自律制御の開発を開始したのをはじめとして、フランス

でも国立航空研究所（ONERA）が同様の目的で当社の無人ヘリを採用している。



NASA Ames 研究所にて

（２）その他

２００１年７月３０日、アメリカのワシントン郊外の空軍基地で、アメリカではじめて、無人機デモフライトの世界大会が開催された。当社の自律型無人ヘリも参加し、その優れた飛行性能を世界の人々にアピールすることができた。

４．６ 今後の展開

自律型無人ヘリコプタには、多くの用途での利用の可能性が検討されている。国土保全関係では、河川の管理や道路保全。電力関係では、原子力災害や送電線の監視。保安関係では、海上の警備、消防活動、地雷探索などが検討されている。この中の用途のいくつかは、すでに実験がおこなわれ、その実用化の可能性が検証されている。

まとめ

アフガニスタンやイラクでの戦争を通じて、無人機に対しての重要性がたかまっ
ている。これまでは、無人機は有人機の補完的な位置づけであったが、今では無人
機を主体に位置づけようとしている。それは、アメリカ本土をテロから守ろうとい
う *homeland security* 構想にあらわれている。その中では、陸・海・空の領域を無人
機で統合的に監視するという案も含まれている。また、ヨーロッパでは無人機の将
来の発展を見込み、国際的な安全基準などのルールづくりをおこなう動きが、アメ
リカや日本も巻き込みながらはじまっている。韓国でも総額１００億円近い国家プ
ロジェクトとして、無人機の開発がはじまっている。

この世界の動きの中で、無人ヘリに関しては最も進んでいるのは、実は日本であ
る。日本全国を１，６００機以上の無人ヘリがほぼ同時期に安全に飛行している現
状は、世界の人々には驚異に思われている。今や無人ヘリは日本を抜きにしては語
れない状況になっている。今後とも、無人ヘリでは日本が世界の中でリーダーシ
ップをとって、その無限の可能性を広げていかななくてはならない。