

UAV (Unmanned Aerial Vehicle) と画像処理

柴田英貴※

UAV(Unmanned Aerial Vehicle:無人航空機)の研究開発は、世界各国の大学、研究機関等で進められている。ヤマハ発動機(株)では、自社製品である産業用無人ヘリコプタ RMAX をベースに、GPS センサと慣性センサを利用した高精度な飛行制御を実現した。回転翼 UAV の制御の難易度は非常に高く、現実的に可視外運用が可能な機体は世界にも数種類しか存在しない。

UAV と画像処理との関係は大まかに 2 種類に分けられる。一つ目は UAV の飛行そのものを制御するために必要なデータを収集するための航法センサ、二つ目は UAV に搭載したカメラを用いて撮影を行い、それを処理して被写体について何らかの情報を得るリモートセンシングである。

ヤマハ発動機は 2000 年春まで、東京工業大学との共同研究で前者の飛行制御のための航法センサを開発してきた。AIS (Active Image Sensor) と名づけられたその画像センサは機体搭載カメラのチルト・パン・ズームをアクティブに制御し、積極的に画像情報を得て必要な情報を取り出すことができる。本稿ではこの AIS を中心に解説する。

UAV and Image processing

Hideki Shibata※

UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) are a focus of research and development efforts by universities, research organizations and other entities in countries all over the world. At Yamaha Motor Co., Ltd., we took the RMAX, our own proprietary industrial-use unmanned helicopter, as a starting point and developed sophisticated flight control that operates using a GPS sensor and an inertia sensor.

Rotary wings UAVs are extremely difficult to control, and there are only a few types of these machines worldwide that can actually be operated outside the range of visibility.

Generally, there are two different ways in which the UAV and image processing work together; with the first, a navigational sensor compiles the data necessary in order to control the flight of the UAV itself. The second involves remote sensing, in which a camera mounted on the UAV takes photographs which are then processed to obtain various information concerning the object being photographed.

By the spring of 2000, Yamaha Motor Co. had developed the former, a navigational sensor for flight control, through collaborative research with the Tokyo Institute of Technology.

This image sensor, called the AIS (Active Image Sensor), actively controls the tilting, panning and zooming of the camera mounted on the machine so that the necessary data can be obtained through the assiduous acquisition of image information.

This paper describes our development achievements, focusing primarily on the AIS.

※ ヤマハ発動機 スカイ事業部

※ Yamaha Motor Co., Ltd., Aeronautic Operations

1. ヘリコプタの制御

ヘリコプタは制御対象としてみたときに、非常に不安定な系である。代表的な物では、回転翼が機体移動時の仰角変化に対して静的安定を持たないことや、速度変化に対して重心周りのモーメントが常に連成するカップリングの存在などが挙げられる。しかも高速飛行時よりも低速飛行時のほうがより不安定である。しかし、ヘリコプタの特性を生かした実際の運用では、ホバリングを中心とした 10[m/s]以下の低速飛行が主である。

人間が、操縦支援装置を持たないヘリコプタを操縦するためには長時間の訓練が必要である。その上、経験をつんだパイロットでも操縦中は休む暇がない。

RMAX は農薬散布などの産業用に開発されているため、パイロットの負担を減らすためにストラップダウン型姿勢センサ(YAS:YAMAHA Attitude Sensor)からの情報を利用したモデルフォローイング姿勢制御装置(YACS:YAMAHA Attitude Control System)が標準搭載されている。これにより人間の体力的・精神的負担が軽減され、事故も減っている。

自律型無人ヘリコプタ（以下自律機,図1）は農薬散布用の機体をベースに、2つの別の要求を満たすために開発された。1つは危険地域などの観測を目的とした数 Km クラスの可視外フライト、他方はリモートセンシングなどを目的とした位置精度数 10cm クラスの精密フライトである。

パイロットの目の届かないところを飛行させる可視外フライトは、現在位置の確認を地上で行い、地上からの高度な操作（目標速度指令、目標位置指令）に正確に従う必要がある。精密フライトは人間の目のような不正確さがあってはならず、パイロットまでの距離が近かろうが遠かろうが正確に一定距離の移動を行う必要がある。これらのフライトを行うためには、姿勢だけではなく、速度・位置の制御も必要であり、機体搭載 GPS,方位センサ,地上局 GPS,通信装置を利用してこれらを実現している。実際には最初に精密フライトが実現し、そのあと通信装置の工夫によって可視外フライトまで可能になった。



図1 AIS 搭載自律機

Performance	Payload	30kg
	Flight Time	60min
	Maximum Height	100m
	Control Range	150m(visual range)
Helicopter	Type	RMAX(L15)
	Main Rotor Diameter	3115mm
	Tail Rotor Diameter	545mm
	Empty Operating Weight	58kg
	Overall Length	3630mm
	Body Width	720mm
Engine	Overall Height	1080mm
	Fuel	Gasoline-oil mixture
	Type	Liquid-cooled 2-stroke

表1 RMAX のスペック

2. Active Image Sensor

AIS は自律機に搭載されたカメラのチルト・パン・ズームを積極的に動かし、そのときに必要な画像情報をできるだけ取りこぼさないように、また取りこぼしてもできるだけ早く拾いなおすことができるように工夫された画像センサである。

AIS と自律機との関係は図 2-1 のようになっており、機体側のセンサ情報も AIS で利用する。AIS 側で計算された情報は Navigation Management System で機体の操縦指令に置き換えられ、機体の目標速度として YACS に送られる。

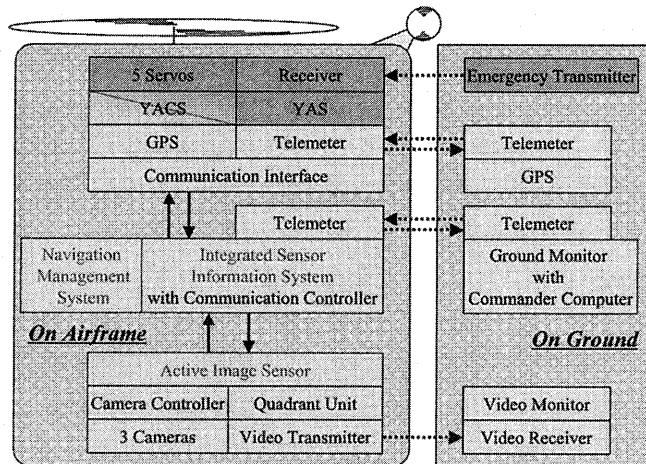


図 2-1 自律機と AIS の関係

2. 1 自動着陸

AIS には誤差 10[m]程度の大まかな緯度経度を入力し、その周辺にあるヘリポートに自動着陸させることを目的として、ヘリポートの自動探索とその上空までの AIS からの指令による機体ナビゲーション、自動着陸機能を実装した。実際の運用場面では着陸場所の緯度経度を正確に求めることは難しく GPS 座標だけを頼りに自動着陸を行うと非常に危険である。

赤い H の形を描いたランドマークを自動的に探して自動着陸を行った。画像から 2 値化・ラベリングなどを行い、面積などの特徴量を計算し、ある条件を満たしたものをニューラルネットにかけ、"H"を認識する。発見後は重心位置を常に注視するようにカメラの向きを制御し、さらにズーム制御で認識した"H"を一定の大きさになるようにしている。カメラの向きと機体の位置、姿勢から、"H"までの水平位置を求め、機体を"H"上空まで誘導する。

2. 2 画像速度センサ

自律機は GPS を用いて位置と速度を制御しているが、GPS は常に使用できるとは限らない米国に支配されたシステムである。また、GPS だけでは機体の機首方位を基準とした水平速度を求めることはできず、方位センサなどの絶対方位センサが必要になる。GPS が正常でも絶対方位がわからなければ速度はわからないのである。GPS に頼らずに機体の速度制御を行うことを目的として、オプティカルフローを利用した画像速度センサ(図 2-2)を実装した。



図 2-2 画像速度センサ

2. 3 動体追尾ナビゲーション

ヘリコプタが白い軽トラックを自動的に探索し、発見後、機体の追尾ナビゲーション動作を行うことを目的としてこの機能を実装した。高速な画像認識と、発見後にはそれと同時に視野内にそれを止めるための画像トラッキングをおこなった。

画像4分割装置を使い、図2-3に示すピラミッド画像を生成した。元画像の1/4の大きさの画面でハードウェアトラッキングを行い、同時に元画像の1/16の大きさの画面でソフトウェアによる目標物認識を行うようにし、ビデオレートでの追尾計算を行うことができた。

また、太陽の方向を検出するセンサを搭載し、それに応じた探索ルート of の自動生成などを行った。

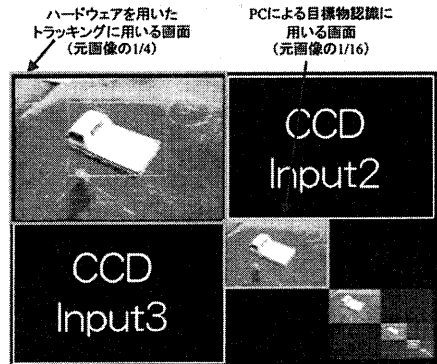


図2-3 動体追尾ナビゲーション

2. 4 画像マップによる自動帰還

機体が正常にフライトを続けている間、AISは内部のメモリ内に画像情報の地図を構築してゆく。具体的にはカメラの向きやカメラの位置情報をGPS・姿勢センサなどから計算し、画像のアライメントをあわせて貼り付け、飛行した場所の空撮地図を作成する(図2-4,2-5)。ここでGPSの位置情報が得られなくなってしまった場合や、地上との通信が途絶えてしまった場合などに、自動帰還モードに入る。現在のカメラ画像があらかじめ構築された空撮地図のどの部分かを探し出し(マップマッチング)、機体の位置を求めて飛行したルートを逆にたどってパイロットの可視範囲内まで戻ってくる。

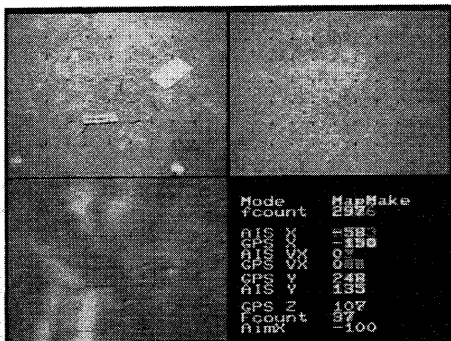
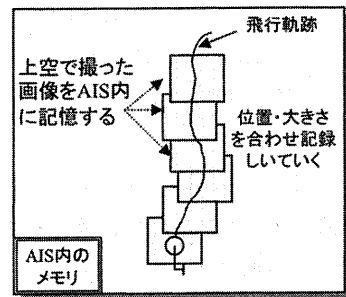


図2-4 画像マップ処理画面



GPSを用いた画像Mapの作成

通った場所の記憶

図2-5 画像マップアルゴリズム

3 AIS のハードウェア

AIS は 2 種類存在しており、研究の初期段階では自動着陸を目的としたハードウェア構成となっており、ビデオ映像を PC 内に取り込んだあとはすべてソフトウェアで処理を行っていた。研究の後半には画像 4 分割装置と富士通のカラー-trackingビジョンを用いて、画像速度センサ以降の機能を実装した。後者の AIS の構成を図 3-1 に示す。雲台やカメラ(図 3-2)の駆動などは H8/3048F を使用した基板(Camera Controller)で行った。

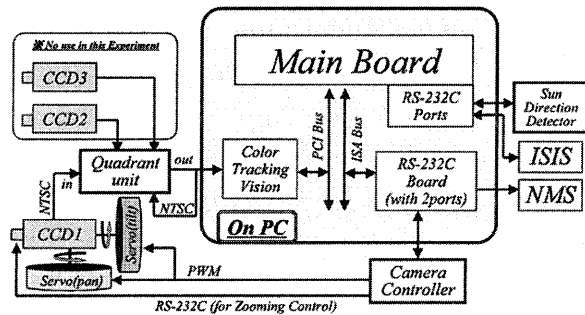


図 3-1 AIS ハードウェア構成

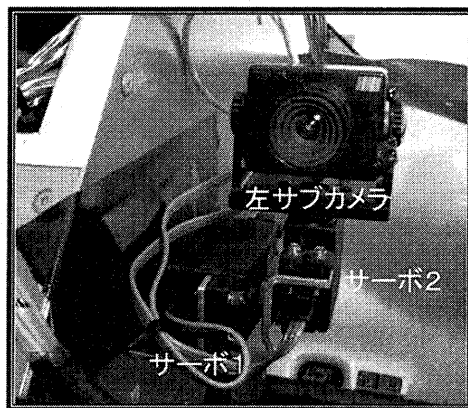


図 3-2 AIS のカメラとカメラ雲台

4 現在の自律機と AIS

前章まではヤマハ発動機と東京工業大学との共同研究で開発された AIS について述べた。共同研究が終了してから約 3 年経った現在、自律機には画像処理がどのように関わっているのか解説する。共同研究が終了した 2000 年春、北海道の有珠山が噴火した。国土交通省（当時 建設省土木研究所）からの依頼で”噴火による泥流発生予測のための観測”を目的として自律機が初めて 1.5Km の可視外フライトを行った(図 4)。これに成功し、翌 2001



図 4 有珠山観測フライト

年 2 月、三宅島にて東京都の依頼により”沢の泥流観測”を行った。しかし、これらの実運用には AIS は全く搭載されていない。AIS はプラットフォームがパソコンであり、限られた RMAX のペイロードと電力を大きく食いつぶす。実運用では強風などに対する余裕を持たせるためにペイロードに余裕を持たせなければならない。パソコンベースの AIS は、ここには入り込む余地がなかったのである。現状では画像情報による機体の制御は一切行われていない。

災害地などでの実運用では、機体に観測用に複数のビデオカメラが搭載されており、その映像を人間が確認しながら自律フライトを行っている。

現状の自律機には唯一、画像のスタビライズ（ぶれ止め）を行うため、PVT 社の AcadiaI が搭載されている。この装置はソフトウェア次第では AIS が実現していた機能すべてを小型、軽量に実装できる。しかし、現状で PVT 社は AcadiaI のボード上のソフトウェアを開発する手段を一般に公開していないため、AIS 相当の機能を載せることができていない。また、PVT 社は将来に渡っても公開する意思がないことを表明しており、自律機に AIS を搭載するためには、新たなプラットフォームを探さなければならない。

昨今のサッカーロボットブームにより、小型、軽量の画像処理ボードが数多く開発されており、今後それらのボードを使って AIS の実用化を図っていく予定である。

参考文献：

[1] 中村心哉・佐藤彰・柴田英貴・菅野道夫. 画像情報および GPS を用いた無人ヘリコプタによる自動探索、追従システムに関する研究 JRSJ Vol.18, No.6, pp.104-114, 2000

[2] 中村心哉・片岡顕二・菅野道夫. アクティブビジョンと GPS を用いた無人ヘリコプタの自動着陸に関する研究 JRSJ Vol.18, No.2, pp.94-102, 2000