

産業用無人ヘリコプタ用姿勢制御装置 (YACS)

Yamaha Attitude Control System

大西 陽一*

Yoichi Onishi

佐藤 彰*

Akira Sato

杉田 正夫**

Akihiko Suzuki

森下 達也*

Tatuya Morishita

鈴木 昭彦*

Masao Sugita

平見 育彦*

Ikuhiko Hiram

1 はじめに

産業用無人ヘリコプタは、その有用性については十分に検証がされているが、その操縦の難しさが普及の大きな障害となっていた。「免許をとっても散布フライトができない人もいる。」「操縦を誤まって墜落させてしまった。」など、操縦を容易にする制御の必要性は年々高まっていた。今年4月に発売されたYACS(Yamaha Attitude Control System)はこのような市場の声に応えるために開発された。

2 開発の狙い

「免許をとったら全員が散布フライトができる。」を基本コンセプトに開発した。散布フライトはヘリコプタの操縦の中でも相当高度な技量を要求される難しいフライトなので、単に安定化のための制御だけでは機能不足である。オペレータが意のままに操れ、かつ本当に楽になったと実感できる制御を狙って開発を行った。また、側面からもオペレータがフライトに集中できるように、散布中に気を使うバッテリー、ペイロードについても、ワーニングなどの装備の充実を図った。

なお、ヘリコプタの基本性能であるペイロードを減らさないため、ハードウェアは必要最少限にとどめ軽量化に努めた。

3 特徴

3.1 全舵(5軸)制御

ヘリコプタの全ての運動軸に対し、常時制御を行っている。(図1)

3.2 モデル追従型制御

安定性と操縦性の両立、言い換えると外乱に対しては強い安定性を示し、人間の操舵に対しては素直に反応する制御となっている。

3.3 モード選択

全てのオペレータに喜ばれる制御とするため、技量に応じて3つのモードを内蔵し、送信機にて簡単に選択できる仕様となっている。

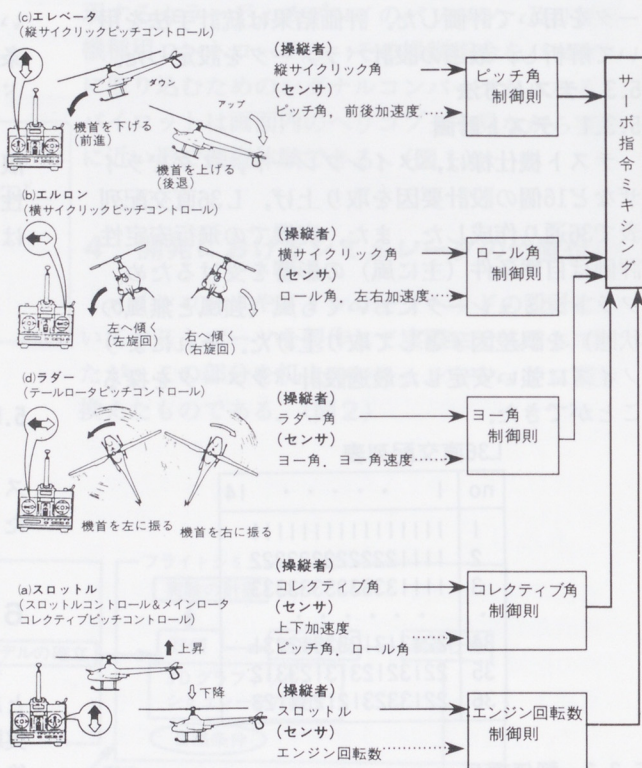


図1 全体の制御則

3.4 姿勢角ユニットの内製化

角速度センサ、加速度センサ以外は全て内製化を行い、市販品に対し、軽量、コンパクト、低コストを実現した。

* スカイ事業部 開発室

**技術本部 制御技術室

	市販品	YACS
重量	4.5 kg	1.8 kg
体積	300×100×100 mm	100×100×100 mm
価格	400 万円	1/3 以下

3.5 ワーニングシステム

バッテリー交換時期、ペイロードの積み過ぎ警報機能を内蔵した。さらに自己診断システムにより、始業点検の容易化、フライトレコーダ機能により事故解析の容易化を図っている。

4 ソフトウェア

制御ソフトの最大の特徴はモデル追従型制御である。従来の単純なフィードバック制御では外乱だけでなく、人間操舵による動きに対してもフィードバックが働き、安定はしているが操縦性の悪い制御となっていた。

モデル追従型制御とは、人間操舵指令から人間の望んでいるヘリコプタの挙動を推定し、それを制御の目標値とする制御である。言い換えると人間操舵により生ずるであろうヘリコプタの挙動には制御をかけないことである。これにより、外乱に対する安定性を高めたままで操舵に対する応答性を上げることができる。また理想モデルを変更することで安定性を変えずにヘリコプタの操舵応答だけを好みに合わせて簡単に変更できる。(図2)

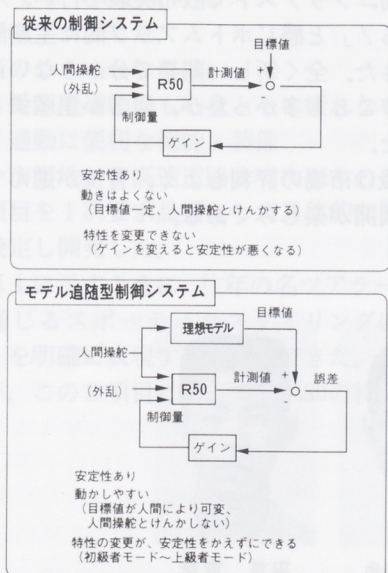


図2 モデル追従型制御

YACSでは、この理想モデルを3つ内蔵しオペレータが自由に選べるようになっている。

図3は各モード毎に操舵に対するヘリコプタの応答を示したものである。上級者はマニュアル操縦に近い味付けとなっている。

上級者モード：旋回フライトのできる経験豊富な操縦者
中級者モード：旋回フライトのできない経験のあまりない操縦者
初心者モード：免許のない人の練習モード

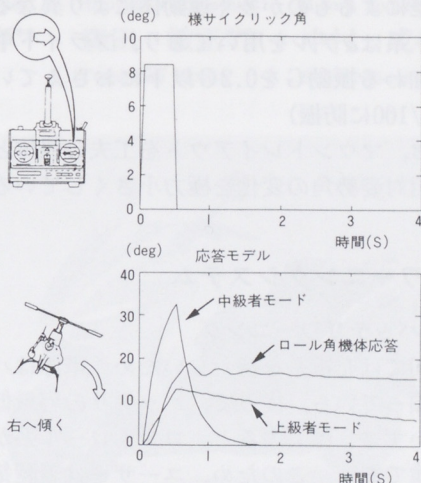


図3 応答モデル

なお、このモデルが本当に散布フライトに合致しているかを確かめるため、昨年夏モニターテストを全国で行い、ユーザーの声を聞いた。特に上下動に対する応答性を上げることでより実用性の高いモデルを作ることができた。

5 ハードウェア

光ファイバージャイロ3個(角速度センサ)と加速度計3個に姿勢角演算用マイコンボード及び制御量計算用マイコンボードを1つの箱に収め構成されている。(図4)

姿勢角を求めるしくみは、基本的な短周期変動をジャイロ積分で求め、ドリフト成分をGセンサにより取除く方式をとっており、出力はオイラー変換を行い、地球座標系に対する変位角として出力している。

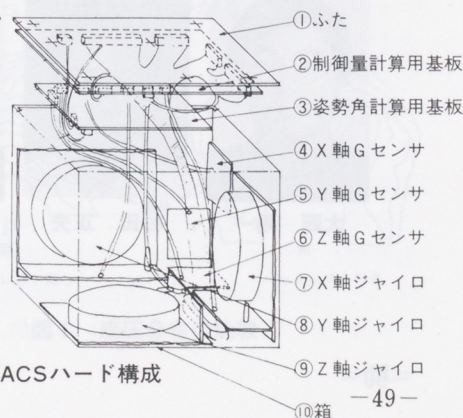


図4 YACSハード構成

姿勢角センサとしての出力は、X、Y、Z軸まわりの回転角度、角速度及び3軸方向の加速度が得られる。

精度は前述の市販センサと同等レベルでヘリコプタでは標準で $\pm 2^\circ$ 程度であるが、この精度は運動誤差によるものが多く運動体により異なる。マウント系は α ゲルを用いており、フライト中センサに加わる振動Gを0.2G以下におさえている。(約1/100に防振)

なお、マウントレイアウトを工夫し機体とセンサの相対姿勢角の変化を極力小さくしている。

6 ワーニングシステム

6.1 バッテリワーニング

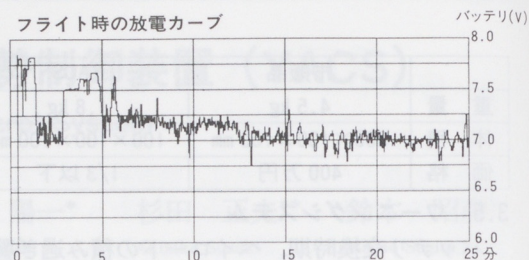
R50では充電系を持たないため、電源はバッテリーに頼っている。従って、バッテリーの容量低下に気づかずフライトすると、コントロール系が暴走し危険である。このため、ユーザーは着陸毎にテスターで電圧を測定し、バッテリーを監視しなければならなかった。

本モデルでは常時、電圧をモニターし、交換時期をオペレータに知らせるバッテリーワーニングシステムを搭載した。

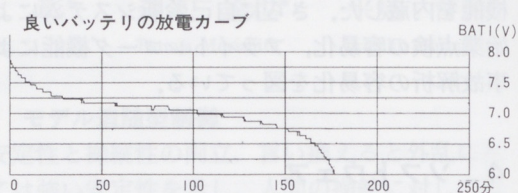
フライト中の電圧は、サーボの瞬間電流が20Aを超えるため大きく変動する。また、バッテリーは劣化度合により放電特性も大きくばらつく。(図5)

このため、約1年間膨大なデータを積み重ねて仕様決めを行い、いろいろなダメージを受けたバッテリーでも必ず安全範囲内にワーニングを発し、かつ全容量の2/3以上を使えるレベルに仕上げる事ができた。

フライト時の放電カーブ



良いバッテリーの放電カーブ



悪いバッテリーの放電カーブ

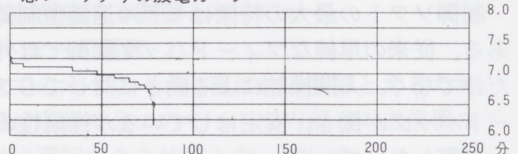


図5 放電カーブ

6.2 ペイロードワーニング

過積載によるハードランディングに対してもシステム内部のセンサ情報を巧みに使い、約2kgの精度で過積載に対するワーニングを発するシステムを作りこんだ。

7 おわりに

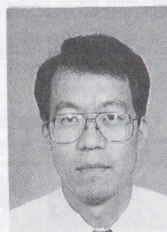
2年前、プリテストで散布実験を行い、「これはいける!」と感じボトムアップ的に生産開発を行ってきた。全く新しい開発で分からないことやとまどうことも多かったが、何とか生産することができた。

発売後は市場の評判もよく、普及が進んでいる。今後の展開が楽しみである。

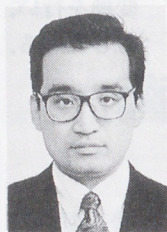
■ 著者



大西 陽一



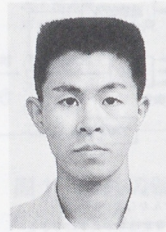
杉田 正夫



佐藤 彰



森下 達也



平見 育彦