

リモートセンシング用小型固定翼 UAV の実用化に向けた姿勢安定化

On the attitude stabilization of small fixed-wing UAV for optical remote sensing

○大山圭一, 塩澤茂宗, 佐藤淳

○ Keiichi Ooyama, Shigemune Shiozawa, Atsushi Satoh

岩手大学

Iwate University

キーワード: UAV (Unmanned Aerial Vehicle), リモートセンシング (Remote sensing),
PI 制御 (PI control)

連絡先 〒020-8551 岩手県盛岡市上田 4-3-5 岩手大学大学院 工学研究科 機械工学専攻
航空宇宙システム研究部門 佐藤研究室
TEL, FAX.: 019-621-6404, E-mail: t3408007@iwate-u.ac.jp

1 研究背景及び目的

現在佐藤研究室では東北農業研究センターと共同で、稲のいもち病や食味の評価への応用を目指し、低コストで高解像度のマルチスペクトル画像が撮影可能なリモートセンシング用 UAV の開発を進めている。リモートセンシングとは、地形や物体などの情報をカメラ等を用い遠隔から取得する技術である (図 1)。リモートセンシング技術によって、短時間で広域の情報を得ることが可能となる。

前述の共同研究では、利用する UAV の形態として小型固定翼機を用いることを予定している。小型固定翼 UAV には、小型のため機体本体が低コスト、滑走路やパラシュートが不要で運用の自由度が大きい、低速かつ低空飛行可能なので

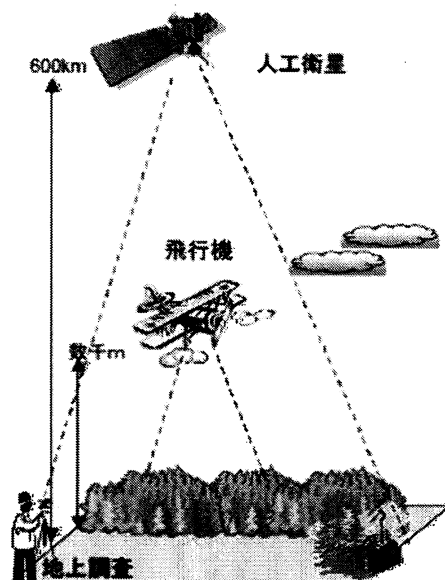


図 1: 衛星と飛行機のリモートセンシング

高解像度の画像情報を得やすい、振動が少ないためカメラ防振装置を必要としないなどの利点があり、共同研究の目的に適している。

そこで本研究では、小型固定翼機の姿勢制御を行い、突風による機体姿勢変化の抑制における有効性を確認することを目的とする。

2 機体及び搭載機器

本研究で試作した小型固定翼 UAV (GAV-1) を図 2 に示す。ベース機体としては比較的低速で飛行可能な低翼面荷重の機体を選んだ。本機体は操縦舵面として、エレベーター（昇降舵）とラダー（方向舵）のみを持つ。GAV-1 の機体緒元を表 1 に示す。

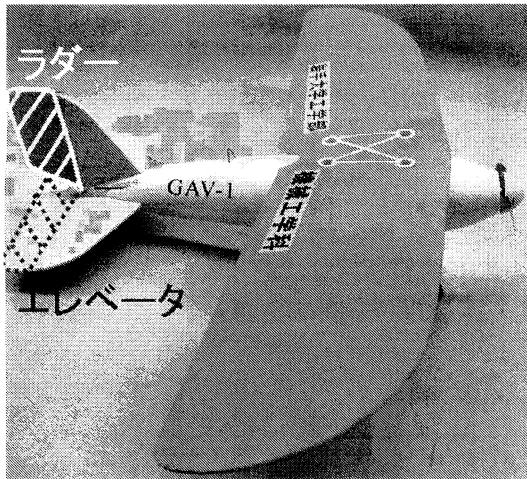


図 2: GAV-1

表 1: GAV-1 機体緒元

材質	発砲スチロール
全長	0.76 [m] × 1.16 [m]
翼幅	0.024 [m]
翼面積	0.34416 [m ²]
総重量	0.375 [kg]
モータ	DC モータ
バッテリー	リチウムポリマー電池 (7.4V, 800mAh)

3 実環境におけるテスト飛行

実験目的 GAV-1 において下記のことを検証する。

1. 実環境において運用可能であるか
2. 風のある環境で飛行した場合の写真への影響
3. 稲穂上への着陸が可能であるか

テスト飛行時に搭載した機器を表 2 に示す。機器搭載時の機体総重量は 0.771[kg] である。

表 2: 搭載機器 (テスト飛行用)

名称	備考
デジタルカメラ (OLYMPUS μ 770SW)	710 万画素数 重量 (177g)
カメラケース	アルミ製 重量 (54.5g)
シャッター機構	サーボモータで駆動 重量 (14.0g)

実験方法 機体は地上から手動操作により操縦し、上空から水田の撮影を行なう。発進は手投げにより行ない、回収は水田の稲穂上に着陸を試みる。

実験結果 高度 30[m] 図から可視光にて撮影した写真を図 3 に示す。機体回収については、

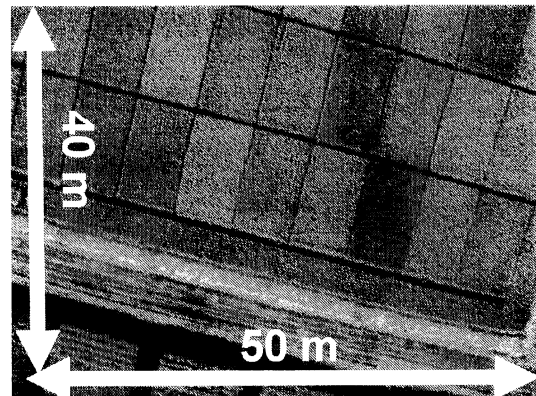


図 3: 上空からの可視光写真

水田の稲穂上に着陸した結果、稲及び機体の双

方に損傷は無く、実用上問題無いと判断された。撮影中の突風による機体の姿勢角速度の変化が撮影時のブレなどとして影響することが予想されたが、風速が2[m/sec]以下の環境では影響はないことが確認された。一方、カメラは機体に固定されているため、突風や操縦操作に伴う姿勢角は、カメラの撮影方向に大きな影響を与えることも確認された。日中の風速は3[m/sec]以上になることも多いため、実環境化で小型固定翼 UAV を運用するために機体姿勢安定化が重要であることが分かった。

4 機体姿勢安定化

実環境におけるテスト飛行によって、小型固定翼 UAV の機体固定カメラを用いて地上の目標点を撮影する際に、突風による姿勢角の変化が大きな影響を及ぼすことが確認された。そこで本研究では、GAV-1 の姿勢安定化制御を行い、突風による機体姿勢変化の抑制における有効性を確認することを目的とする。

写真撮影時にピッチ角、ヨー角及びロール角(図4) 周りで各々機体に変化した場合の撮影範囲への影響について考える。

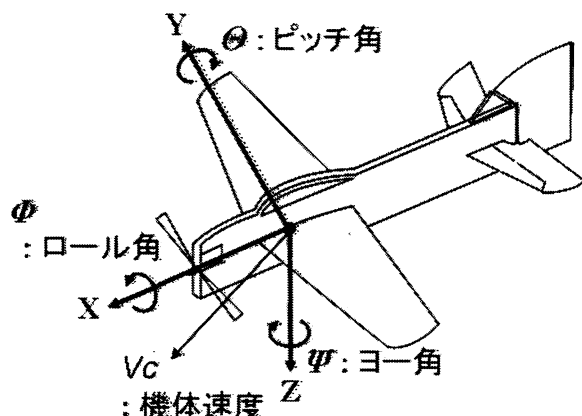


図4: 機体座標系

目標地点上を水平直進飛行し撮影を行う場合について考える。撮影時に突風の影響により機体ピッチ角変動する場合には、撮影間隔を十分短くすることで、目標領域すべてをカバーするような撮影が可能である(図5)。また、ヨー角が変動する場合には、撮影領域に余裕を持たすことにより、目標領域をカバーすることが可能である(図6)。しかし、ロール角が変動する場合には、撮影間隔の短縮は効果が無い。また撮影領域に余裕を持たせる場合、非常に大きな余裕が必要となり実用的ではない(図7)。魚眼レンズやカメラ支持装置を使用する解決法は、解像度の低下やコストの増大を招くため、本研究では撮影時のロール軸周りの姿勢安定化が特に重要であると考ええる。

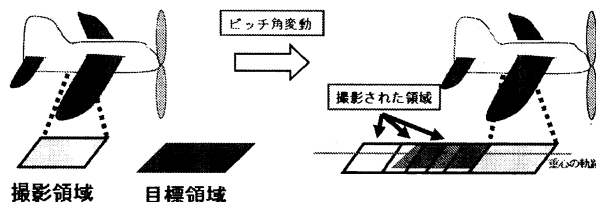


図5: ピッチ角姿勢変動の影響

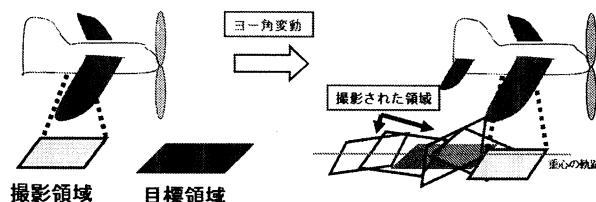


図6: ヨー角姿勢変動の影響

4.1 ロール角姿勢安定化実験

実験目的 撮影時には、突風に対するロール軸周りの姿勢安定化が重要と考えられるため、GAV-1 のロール角速度の減衰を強めるような自

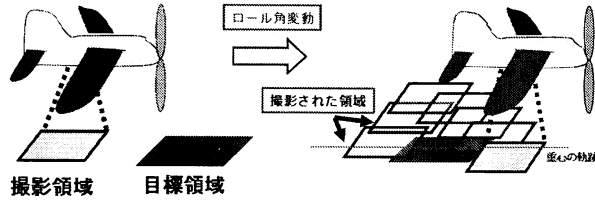


図 7: ロール角姿勢変動の影響

動安定化制御系（ロールダンパ）を実装し、飛行試験によりその有効性を確認する。

制御系の構成 本研究ではロールダンパの構成に、次のようなPI制御系を用いる。

$$\delta_r = K_p e + K_I \int e dt \quad (1)$$

ここで、 δ_r はラダーへのコマンド舵角、 e はロール角速度の目標値との偏差、 K_p は比例ゲイン、 K_I は積分ゲインを表す。ロール角速度の目標値を $0[\text{rad/s}]$ とおくことで、ロール角速度応答の減衰を強める。また、ロールダンパのブロック線図を図 8 に示す。

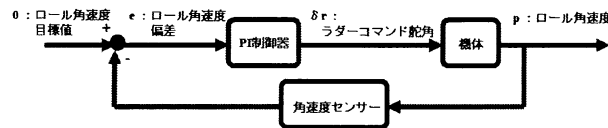


図 8: ロールダンパのブロック線図

また、姿勢安定化実験の際の搭載機器を表 3 に示す。機器搭載時の機体総重量は $0.930[\text{kg}]$ である。

表 3: 搭載機器 (機体姿勢制御実験用)

名称	備考
制御基板 (ワイズ・ラブ社 MAVC1)	H8 マイコン 加速度センサー
ZigBee (MaxStream 社 XBee-PRO)	野外通信距離 (約 300m)

適切な K_p , K_I のチューニング方法は、閉ループ系が安定化されるような範囲で試行錯誤的に

ゲインを変化させて飛行実験を行い、ロール角応答からゲインを決定することにした。

実験方法 まず P 制御 ($K_I=0$) において、試行錯誤的にゲインを変化させて飛行実験を行い、ロール角応答が適切になるよう K_p をチューニングする。次に PI 制御を行い、 K_p と同様に積分ゲイン K_I をチューニングする。ただし本発表の時点では、時間的制約により最終的なコントローラは未だ得られていない。

実験結果 まず P 制御において初期ゲイン $K_p=0.75$ とした時の、ラダー角入力に対するロール角速度応答を図 9 に示す。この時ロールダンパは、 $162.25[\text{s}]$ から動作させた。また、飛行条件を表 4 に示す

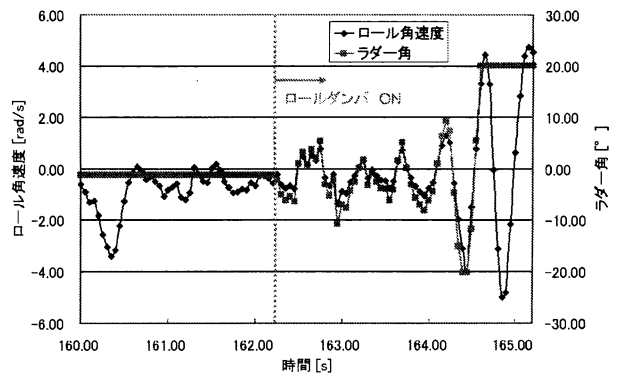


図 9: ラダー角入力に対するロール角速度応答

表 4: 飛行条件

平均流速	$0.9 [\text{m/s}]$
最大風速	$1.5 [\text{m/s}]$
気温	$15.3 [^{\circ}]$
気圧	$1002.8 [\text{hPa}]$

ロールダンパを動作させていない場合の応答 ($160 \leq t \leq 162.25$) より、GAV-1 は安定なロールモードを持つ機体であることが確認できた。一方、ロールダンパを動作させた後 ($162.25 \leq t$) で

は、ロール角速度が発散していることから、ロール角姿勢がフィードバック系によって不安定化しており、初期ゲインの選択が適切でないことを意味している。

結果より、更に比例ゲインを小さくチューニングする必要があると思われたが、前述の実験で実験装置が破損したため、更なるチューニング及びロールダンパの有効性の確認は今後の課題である。

5 結言

本研究では、GAV-1の姿勢安定化制御を行い、突風による機体姿勢変化の抑制における有効性を確認することが目的であったが、コントローラのチューニング中に機体が破損してしまったため有効性の確認までは至らなかった。

本研究において、これまでの実験で得られた知見を以下に示す。

- 撮影時には、突風に対するロール軸周りの姿勢安定化が重要であることを確認した
- ラダー入力により十分にヨー軸周り運動を発生させられることを確認した

今後の課題は、更にチューニングを行い有効性の確認を行うことである。

参考文献

- [1] Daniel J. Neufeld, Joon Chung :
Unmanned Aerial Vehicle Conceptual
Design Using a Genetic Algorithm and Data
Mining ;
AIAA-2005-7051, Infotec@Aerospace, Arlington,
Virginia, sep.26-29, 2005

- [2] Weyer. J. du Plessis, Ellis. P. Clark : Design
considerations for a low altitude long en-
durance solar powered unmanned aerial ve-
hicle ; AFRICON2007, 26-28, Oct. 2007

- [3] Warwick Graham :
DARPA sets nano-UAV challenge ;
Flight International. vol.168, no5005, pp.24-4-
10, Oct. 2005

- [4] 久世宏明：リモートセンシングの基礎；森
北出版株式会社, 2005.4.20