

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 8 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26630445

研究課題名(和文)フラットスピンによる固定翼小型UAVの完全自動着陸に関する研究

研究課題名(英文)Research on an automatic landing system of a fixed-wing UAV using flat spin

研究代表者

東野 伸一郎(Higashino, Shin-Ichiro)

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：40243901

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本課題では、フラットスピンを利用した小型固定翼UAVの自動垂直着陸を実現する方法を研究した。通常の機体であってもフラットスピンのエントリーさせるために、バラストを利用して必要な時のみ機体の重心位置を後退させ、フラットスピンのエントリーさせる方法を考案し、飛行実験によってその有効性とスピン中の姿勢がほぼ水平になることを確認した。また、スピン中の姿勢がフラットになることにより、降下中の速度がかなり小さくなることを確認された。さらに、フラットスピン中の機種が所望の方向を向いた瞬間に推力を与え、飛行経路を変更する方法を考案し、飛行実験によって所望の方向に経路移動が可能であることを示した。

研究成果の概要(英文)：The method for the automatic vertical landing system of an fixed-wing UAV using the flat spin was investigated experimentally. In order to make even an ordinary UAV enter into the spin, the method in which the C.G. position of the UAV is moved rearward using a ballast only when necessary was used in flight experiments. The quick entry into the flat spin and the attitude of the UAV was found almost horizontal in the experiments. The descending speed during the flat spin was also found very slow compared with that in the steep spin. In order to change descending path during the flat spin and lead the UAV to a desirable position, the method in which the maximum thrust of a propeller is given periodically during the flat spin only when the direction of the nose coincides with the desired direction was used. It was found that the descending path can be changed using this method.

研究分野：飛行力学

キーワード：UAV flat spin automatic landing system

1. 研究開始当初の背景

筆者がこれまで行ってきた科学観測用の以下固定翼 UAV の研究・開発と、科学者との共同によるフィールドでの運用研究において、固定翼 UAV の活躍が期待されるフィールドでは、離着陸に利用できる広い場所が無いことが多く、利用に支障をきたすことが大きな課題であった。固定翼 UAV の離陸にはカタパルトが利用できるが、一番困難であるのは着陸・回収である。風任せのパラシュートは狭小地では使用できないため、たとえ狭小地であっても、指定した位置にピンポイントで安全に自動回収できる方法の確立が固定翼 UAV の利用拡大に必要である。

過去に実施した気球分離型滑空機 UAV の国内低高度試験飛行中に、気球から分離した UAV がフラットスピンの陥り、制御不能・墜落となる事態が発生したが、幸い機体は回収でき、また驚くべきことに着地後の機体はほぼ無傷であった。データ解析によるとフラットスピンによる降下速度は、パラシュートによる降下速度とほぼ同じであり、これが無傷で回収できた理由であると思われた。これにヒントを得て、もしフラットスピンの降下経路や降下速度、着陸位置を制御することができれば、ピンポイントで固定翼 UAV を安全に自動回収する方法になりうるとの考えに至った。

2. 研究の目的

フラットスピンによって固定翼 UAV を安全な降下速度でヘリコプターのオートローテーションのようにほぼ垂直に、ある指定半径内に着陸させる技術を開発する。そのためには、(a)通常、短時間でフラットスピンには移行しにくい特性がほとんどである固定翼 UAV を、短時間でフラットスピンに移行させる技術、(b)着地時の姿勢を機体の損傷が無いようにほぼ水平にする技術、(c)フラットスピンの降下速度を低減させる技術、(d)フラットスピンの降下経路を意図する方向へ制御する技術の4つを開発することを目的とする。

3. 研究の方法

フラットスピンを含むスピン中の空気力(空気力モーメントを含む。以下「空気力」と記す)は失速による剥離を伴うためにきわめて複雑であり、したがって機体運動そのものも複雑なものとなる。このため、シミュレーションのためにそれらの空気力をモデル化するためには風洞試験あるいは飛行試験による計測が不可欠である。さらに、風洞試験であっても、スピン風洞のような特殊な風洞でなければ実際のスピンにおける空気力や運動を再現したと等価にすることは困難である。したがって、本研究ではおもに飛行実験そのものによって研究をすすめることとし、そのために妥当な供試機体の選定と空気力および運動計測システムの構築を行った。

飛行実験によってフラットスピンの試験を行うにあたっては、何らかの非常事態に陥った場合にも安全に機体を回収できることが必要であるため、射出式のパラシュート開傘システムを開発し、飛行の安全を確保することとした。

飛行状態がほぼ水平姿勢のフラットスピンへ移行すれば、研究目的の(b)および(c)に記載した、フラットスピン中の姿勢をほぼ水平にすること、およびフラットスピンの降下速度を低減させることは必然的に満たされると予想されるため、おもに(a)のフラットスピンに短時間でエントリーさせる技術と(d)の降下経路の制御方法について研究した。(a)については、機体の重心位置を移動させることによる効果を調べ、また(d)については経路変更を行う力である求心力として、ほぼ水平になった機体の推力を利用することを考え、それぞれ実験によって定量的にその効果を確認する方法で研究をすすめた。

4. 研究成果

(1) 実験システムの構築

飛行試験を実施するための供試機体として、市販のラジコン機2機((A)スパン1.48m, 重量4.4kg, モーター機 および(B)スパン2.7m, 重量15.1kg, 100cc ガソリンエンジン機)を準備した。(B)機はもともとアクロバティック演技としてのフラットスピン(ただし、角度はやや深い)が可能な機体であるが、(A)機は通常のスティーブスピンにはエントリーするものの、フラットスピンには移行しない機体であるため、(A)機をフラットスピンに移行できれば課題の一つがクリアできたことになる。いずれもバネやゴムなどの弾性体の力によってパラシュート射出を行うシステムを開発し、非常時の安全性を確保した上で実験を実施した。

開発した実験システムの機上システムを図1に示す。空気力および運動計測装置としては、IMU(Instrument Measuring System)を含む AHRS(Attitude Heading Reference System)である図1中の MTi-G によって空気力および運動計測を行うとともに、自動飛行のためにすでに開発していた制御装置(APCUB)によって、手動飛行および自動飛行によって試験が実施できる体制を整えた。飛行中のデータは SD カードに記録されると

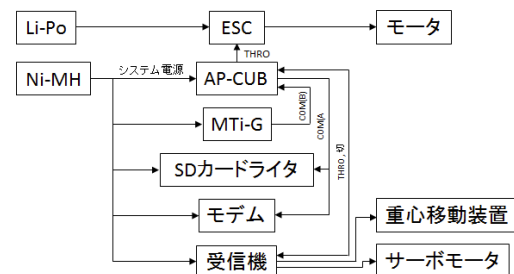


図1 機上システムの構成

もに、ワイヤレスモデムによって地上局に送信され、地上で状態をモニタすることができる。

(2)フラットスピnEnter法について

通常の飛行状態において機体の重心位置を後方にすると、迎角安定性が悪化し、スピnEnterにエンターしやすくなることは飛行力学的に広く知られている。しかしながら、重心位置を後方で固定してしまうと離着陸を含む通常飛行時に支障をきたす恐れがある。このため、図2に示すように、パラストをリリースすることによって必要な時のみ機体重心位置を後方に移動し、その後パラストを分離・投棄することによって通常の重心位置に戻して着陸が可能となる装置を開発した。

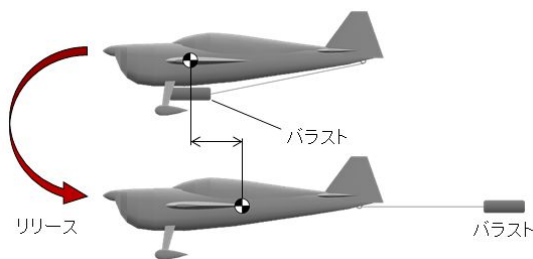


図2 重心移動装置の概要

なお、パラストの投棄等については、無人機からの物体の投棄に必要な許可とともに、高度150m以上の飛行に必要な許可等(国空航第9258号、国空航第8208号、熊運情670号)を得て実施した。パラストは水を入れたペットボトルを利用しているため、水の量を変更することによって重心位置を変更することができる。

通常飛行時の重心位置が33%MACの前出(A)機におけるスピン状態を機上コックピット内に設置したカメラで撮影した映像を図3に、パラストリリースによる重心位置107%MACの状態でのスピン状態におけるスピnEnter状態の機上カメラ映像を図4に示す。また、パラストリリース前後を含むスピン中の高度と降下速度の時歴データを図5に示す。

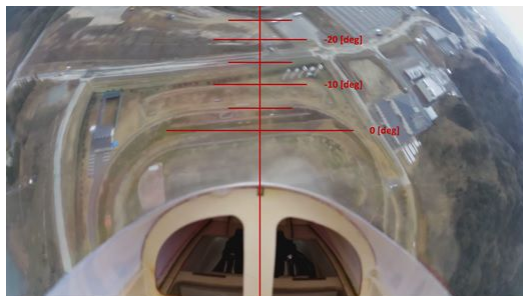


図3 重心移動前の機上カメラ映像

図3からわかるように、パラストリリース前の重心位置では、カメラの映像には地面が

映っており(ピッチ角約 -50°)、いわゆるスティープスピン状態であるが、パラストリリース後の図4ではほぼ水平(ピッチ角約 $+3^\circ$)であることがわかる。

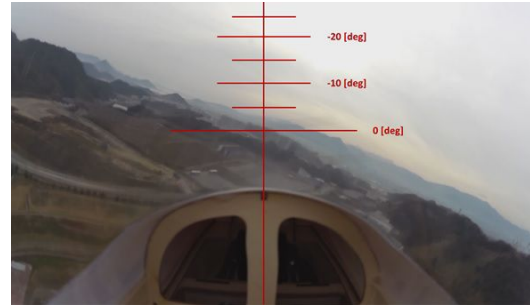


図4 重心移動後の機上カメラ映像

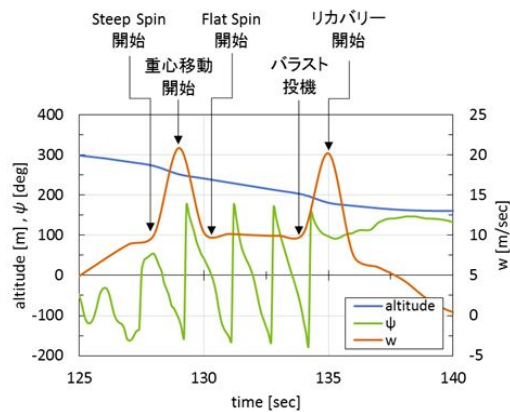


図5 スピン中の高度、降下速度

また、図5からパラストリリース前におけるスティープスピnEnterの降下速度21m/sから、パラストリリース後は10m/sに減速していることがわかる。これらのことより、スピnEnterには重心位置の後退が効果的であること、またフラットスピンにより降下速度が大幅に低下し、安全に着地するためにはあと数m/sの低減が必要ではあるが、約10m/s程度に低減されることを確認した。

(3)フラットスピン中の経路変更法について

フラットスピンで降下中の機体を任意の地点へ導くためには、ほぼ垂直に降下する降下経路に対して垂直な求心力が必要である。その方法として、スピnEnter中に機首が目標地点を向いた瞬間に推力を増加させることで垂直降下する機体に目標地点へ向かう求心力を与える方法を考案した。実験機(B)を用い、この方法による確認実験を行った。降下時の経路は定常風の影響を受けるため、図6(a)および(b)に示すように、フラットスピン中に、機首が風上方向および風下方向を向いた瞬間に推力を増加(フルスロットル)する実験と、推力無操作のフラットスピンとを比較して行った。また同様に、図6(c)および(d)に示すように、フラットスピン中に機首が風に対して右 90° および左 90° を向いた瞬間

に推力を増加する実験と、推力無操作の実験を比較して行った。

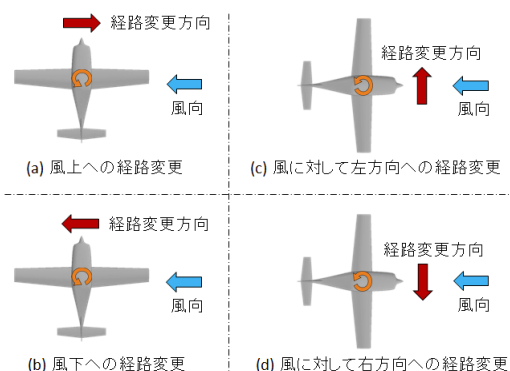


図6 推力効果の確認実験の方法

実験結果を図7および図8に示す。

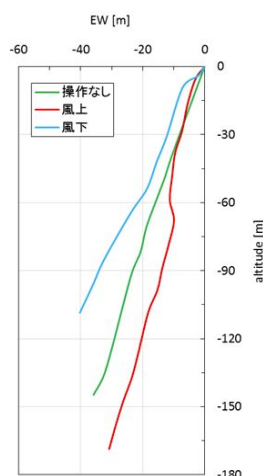


図7 風上・風下への経路変更実験結果

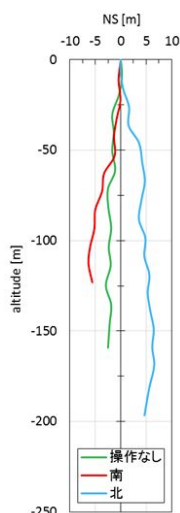


図8 風に対して左右への経路変更実験結果

図8および図9における色付きの線は凡例に示した方向へ経路変更を行ったフラットスピンの軌跡を、スピンの開始地点を揃えて表示したものである。また、それぞれ比較考察用に推力の操作を行わないフラットスピンの軌跡を緑の実線で示している。図7より、風の影響を強く受けた場合でも推力の影響によって経路は変化し、所望の結果が得られている。しかし今回の実験では、風上側へ風に逆らって進む程の経路変更は困難であることもわかる。図8より、風の影響がほとんどない環境では任意の方向へ経路変更が可能であることが分かる。以上より風と経路変更量が定量的に分かっていれば、十分な高度からフラットスピンを開始することにより、任意の地点へ着陸させることが可能であることが示された。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)
取得状況(計0件)

〔その他〕

齋藤 望, 小型無人飛行機のフラットスピンに関する研究, 九州大学工学部機械航空工学科航空宇宙工学コース平成26年度卒業論文

中間 洸太, 小型固定翼無人機のフラットスピンに関する研究, 九州大学工学部機械航空工学科航空宇宙工学コース平成27年度卒業論文

6. 研究組織

(1) 研究代表者

東野 伸一郎 (HIGASHINO, Shin-Ichiro)
九州大学大学院工学研究・准教授
研究者番号: 40243901

(2) 研究分担者

長崎 秀司 (NAGASAKI, Shuji)
九州大学大学院工学研究・助教
研究者番号: 00304741

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし