

ARLISS 2010 報告書

[大学名] 東京大学
[チーム名] TENRAI#
[指導教官] 中須賀真一
[リーダー] 滝澤潤一
[メンバー] Kim Jiyeon・Qiao Kun・滝澤潤一・細沼貴之・越智琢正・濱口竜平・五十里哲

1. 機体紹介

1.1 ミッションステートメント

東京大学は3年前より、天雷と呼ぶ全翼機を用いたフライバックに挑戦してきた。今回は、この天雷を改良し、フライバックによる目標地点への接近と、機体に搭載したカメラを用いた地上の撮影を目指しプロジェクトを進めることとした。ミッションステートメントおよびサクセスクライテリアをそれぞれ table.1、table.2 に示し、ミッションシーケンスを fig.1 に示す。

table.1 ミッションステートメント

昨年度まで開発を行ってきた全翼機天雷を改良し以下のミッションを達成する。

- 機体制御系の改良を行って飛行中の経路誘導を行い、予め指定された目標点に到達する
- 機体に搭載したカメラを用いて上空からパノラマ写真用の写真を撮影する
- 地上局で機体の位置を把握し追尾を行う

"目標点への到達"はカムバックコンペティションに参加し、ゴール地点への誘導を行うことでの実証を目指す。

"地上の撮影"では飛行中に複数枚の画像で視野の一部が重なるよう撮影を行い、機体回収後の解析でこれらの画像を合成しパノラマ写真の作成を目指す。

"機体の追尾"については地上局を車に搭載して機体から送信される位置情報に基づき追尾を行い、追尾している車を機体が撮影している画像に収めることを目指す。

table.2 サクセスライテリア

Minimum Success	<ul style="list-style-type: none"> ● ロケットからの放出後、展開して安定飛行を行う ● カメラを用いた撮影を行い少なくとも1枚の画像をSDカードに保存する ● GPSを用いて機体位置情報を取得する
Full Success	<ul style="list-style-type: none"> ● GPS情報に基づきゴールへ向けた機体の誘導を行う ● 撮影を連続して行い、2枚の画像を合成してパノラマ画像を作成する
Advanced Success	<ul style="list-style-type: none"> ● 機体をゴールから半径100mの円内に着地させる ● 5枚以上の画像を合成してパノラマ画像を作成する ● カメラを用いて地上の車の撮影を行う

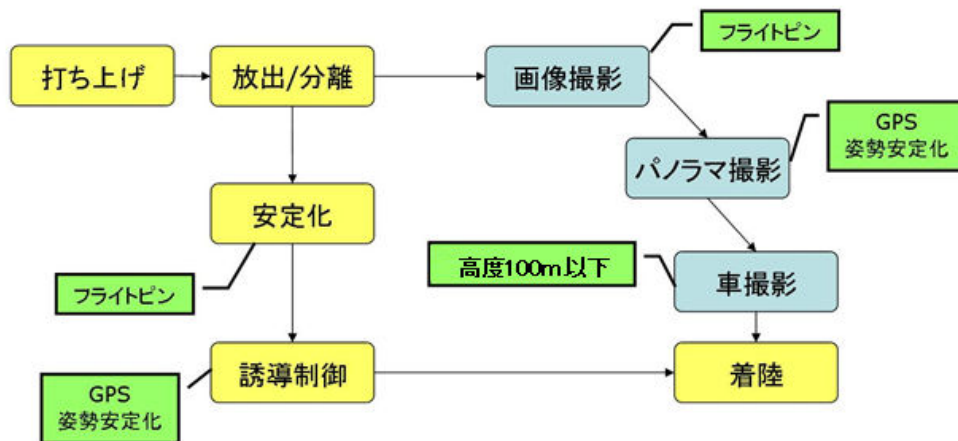


fig.1 ミッションシーケンス

1.2 機体構成

前述のミッションを達成するため、機体と地上局からなるシステムを構成した。システム全体の構成図を fig.2 に示す。機体は EPS から切り出した 5 つの翼から構成されており、各翼はバルサでできたヒンジで結合されている。そのため、機体はロケットに収納可能な大きさまで折りたたむことが出来る。機体の概観を fig.3 に、折りたたんでフェアリングに状態した状態を fig.4 に示す。

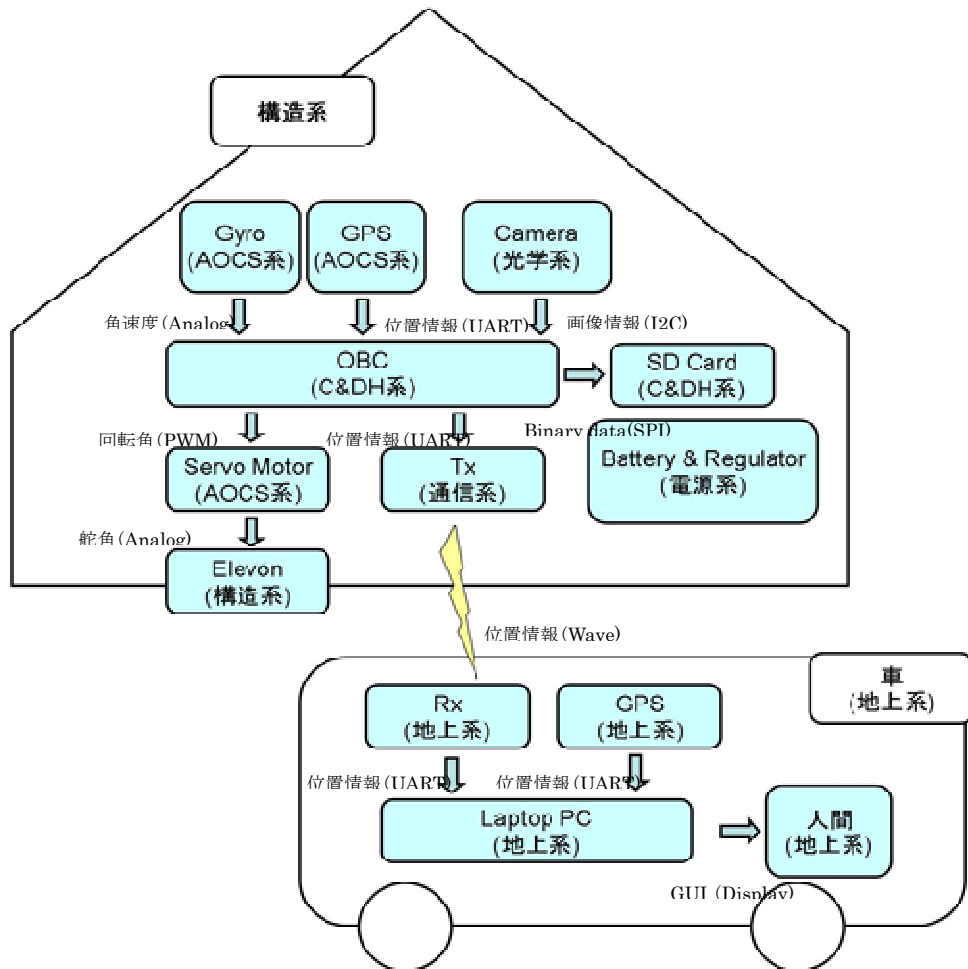


fig.2 システムダイアグラム



fig.3 機体概観



fig.4 フェアリング収納時

中央の3つの翼には、OBC、GPS 受信機、無線機、Gyro、Servo、Battery が収納されており、Servo はバルサ

でできた Elevon とつながっている。OBC が Gyro の情報を元に、Servo を介して Elevon を動かすことで、機体の進行方向や姿勢を制御する。機器の配置は、各コンポーネントの寸法・重量などの情報をもとに作製した CAD モデルを利用しつつ、機器搭載後の機体重心位置を考慮して決定した。fig.5 に機器配置図を示す。

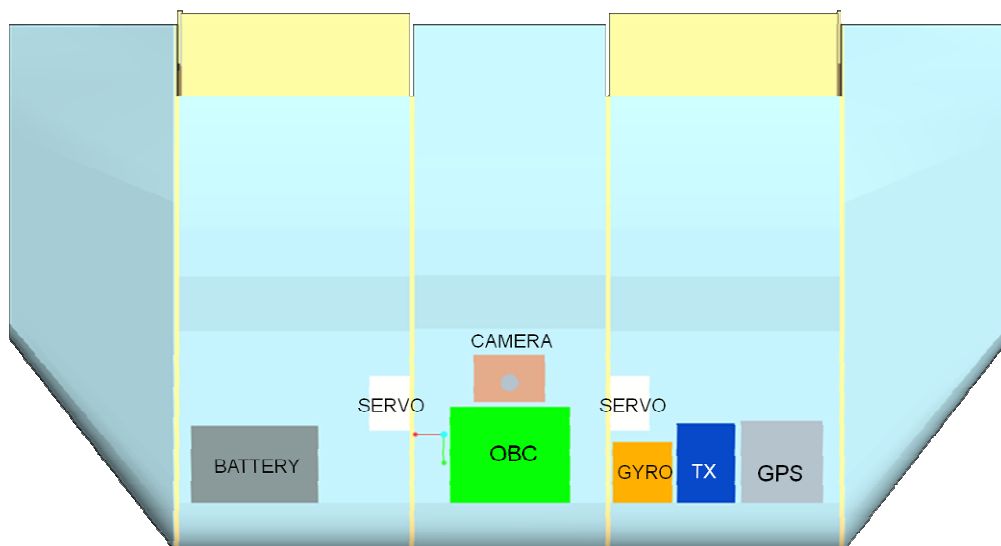


fig.5 機体内機器配置図

一方、機体と通信するための地上局は、無線機、GPS 受信機、OBC、LED からなっており、GPS からは地上局の位置座標、受信機からは機体の位置座標を取得する。OBC はこれらの座標から地上系の移動速度ベクトル、地上局に対する機体の相対ベクトルを計算し、機体の相対方向を取得する。取得された相対方向は円形に配置された 8 つの LED によって人間に示される。fig.6 に地上局概観を示す。

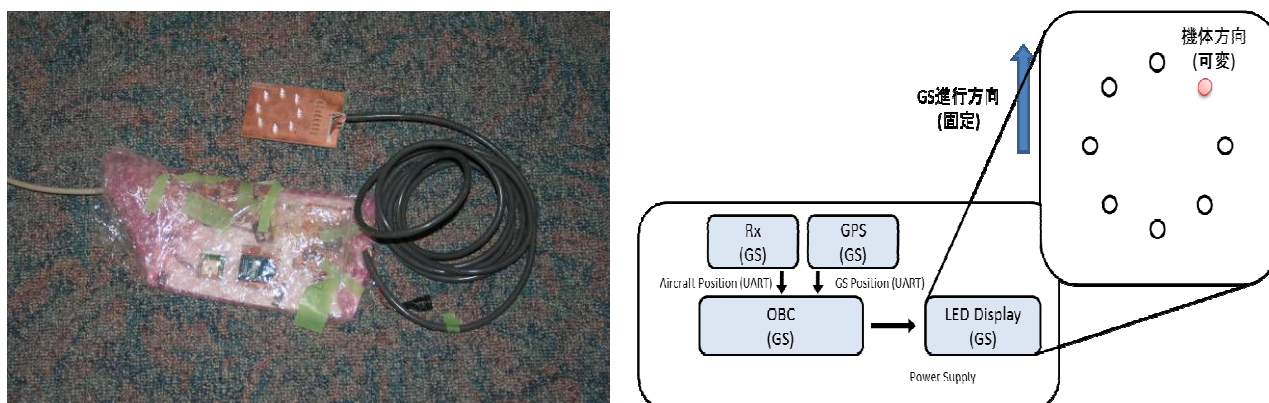


fig.6 地上局概観

2. 成果

打ち上げ後、地上に到達するまでの間に以下のミッションを行った。

- 目標点への機体誘導(カムバックコンペティション)
- 地上局を用いた飛行中の機体追跡

その他実施予定であったミッション“搭載カメラを用いたパノラマ画像作製”については搭載カメラの開発が間に合わず、渡米前にミッションの遂行を不可能と判断し実施を断念した。以下、ARLISS 中に行った2回の打ち上げ結果について述べる。

2.1 打ち上げ1回目

打ち上げ後、着陸地点で確認した機体の状態を fig. 7 に示す。回収時、機体後部のエレボンおよび垂直尾翼が破損していることが確認された。機体回収後に撮影した破損部の拡大写真を fig. 8 に示す。



fig.7 着地点での状態



fig.8 破損部拡大画像

破損原因としてはロケットからの放出時の衝撃または着陸時の衝撃が考えられる。以下で述べる解析結果より放出時に破損した可能性が高い。

ロケット装填時(フライトピン設定時)からの角速度履歴を fig.9 に示す。分離後の飛行時間が予想していた時間である 1000 秒間よりも短い 600 秒程度であり、機体が正常に滑空できていない可能性が考えられる。

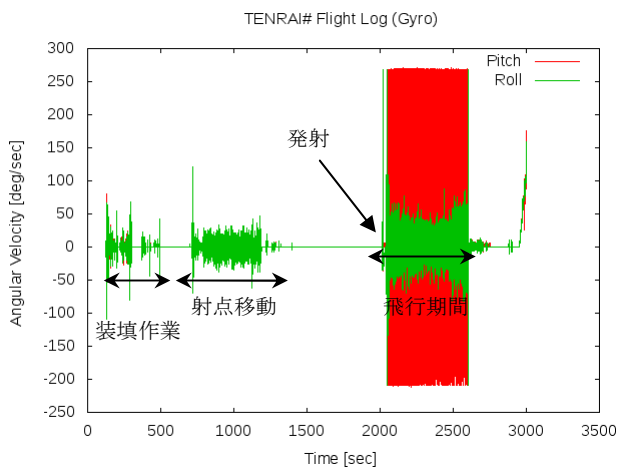


fig.9 ジャイロ履歴(全体)

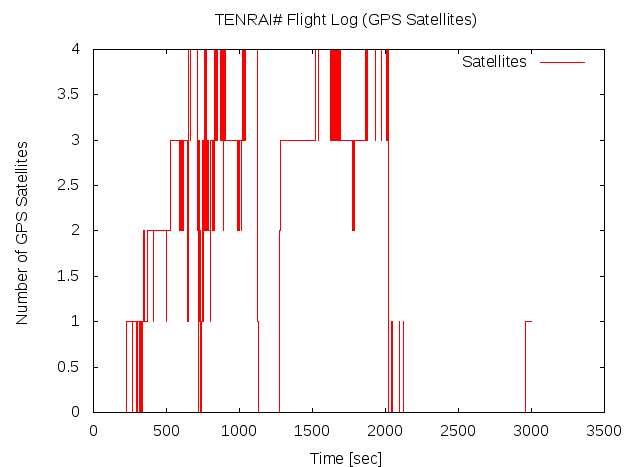


fig.10 GPS 捕捉衛星数

GPS 受信機の捕捉衛星数を fig.10 に示す。飛行期間である 2000 秒から 2600 秒の区間については衛星を捕捉

できず、測位が行えていないことが読み取れる。最後に、機体放出から約 20 秒間のジャイロ履歴とサーボモータの出力指令値を fig.11 と fig.12 に示す。機体の放出は 2049 秒付近で行われ、サーボモータによる安定化制御が 2059 秒付近から開始されていることが分かる。TENRAI# はロケットからの機体放出後、10 秒間を無制御区間とし、その後搭載サーボモータを用いた姿勢安定化制御を行う。10 秒間の無制御区間は機体が展開して揚力を獲得し滑空状態へと遷移するために確保している。これらの記録から機体制御用のプログラムは事前に計画されたシーケンスに沿って正常に動作していることが分かるが、制御の開始時点の前後で機体の姿勢運動は特に変化を見せず、制御の効果が表れていない。これは機体放出時にエレボンが損傷し、機体を制御する力を発生できなかつたためと考えられる。

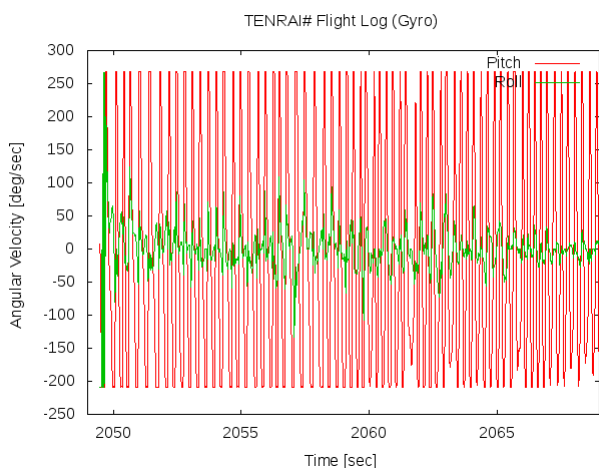


fig.11 ジャイロ履歴(制御開始前後)

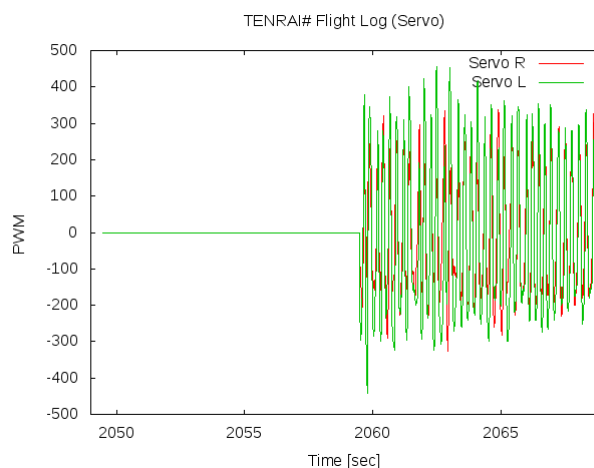


fig.12 サーボモータ指令値

以上をまとめると、TENRAI# は、ロケットからの放出時に衝撃によりエレボンおよび垂直尾翼が破損し、機体の安定性および制御能力を失い、安定した飛行状態に遷移できずに落下したと推定される。機体が安定状態に遷移しなかつたため GPS による位置情報取得が行えず、機体を目標点へ誘導することができなかつた。

2.2 打ち上げ 2 回目

回収時の機体の状態を fig.13 に示す。1 回目の打ち上げ後に行ったエレボンと垂直尾翼の補強により 2 回目の打ち上げでは回収時に機体の破損は確認されなかつた。



fig.13 回収時の状態

ロケットへの充填以降に記録されたジャイロの出力履歴を fig.14 に示す。履歴より今回の飛行期間はおおよそ

1000 秒であり、この値は予想される値と一致する。飛行期間中、ジャイロ出力が著しく減少している区間(およそ 2800 秒から 3100 秒)が存在する。

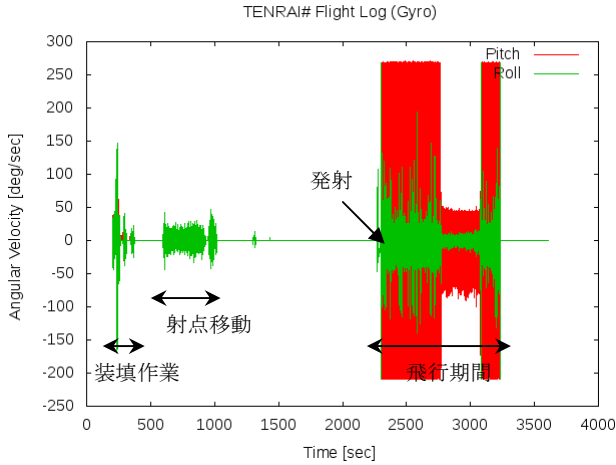


fig.14 ジャイロ履歴(全体)

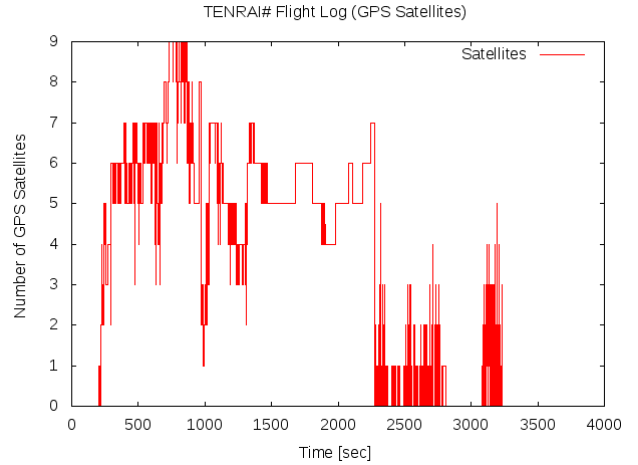


fig.15 GPS 捕捉衛星数

続いて、GPS 受信機の捕捉衛星数を fig.15 に示す。放出後の捕捉衛星数が 3 から 4 機と、誘導を行うために必要な数の衛星を取得出来ていることが分かる。しかし、fig.14 において飛行中に角速度が大きく減少している区間については捕捉衛星数が 0 機となり、測位が行えていないことが読み取れる。

今回得られた測位結果を経緯度で表したものが fig.16 である。赤色の線が測位結果をつなげたものであり、図の左下から右上に向かって機体が飛行したことを示している。この線上にある緑と青の点は機体の誘導制御が行われた点を示している。図中の緑色は fig.14 で示した角速度の減少の前に制御が行われた点であり、青色は角速度の減少後に制御が行われた点である。また、左下の四角はカムバックコンペの目標点座標を示している。

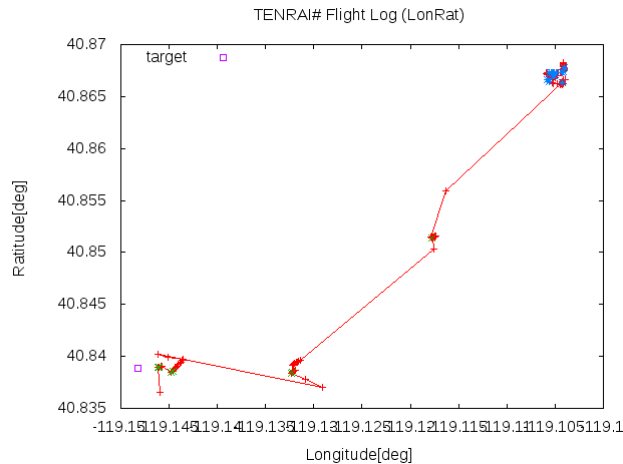


fig.16 GPS 測位履歴

この図より、緑色の制御点がある部分と青色の制御点がある部分、すなわち角速度の減少区間の前後では機体の運動が大きく異なっていることが読み取れる。fig.14 のジャイロ履歴のうち、角速度の減少区間の開始部分と終了部分を拡大したものを fig.17 と fig.18 に示す。

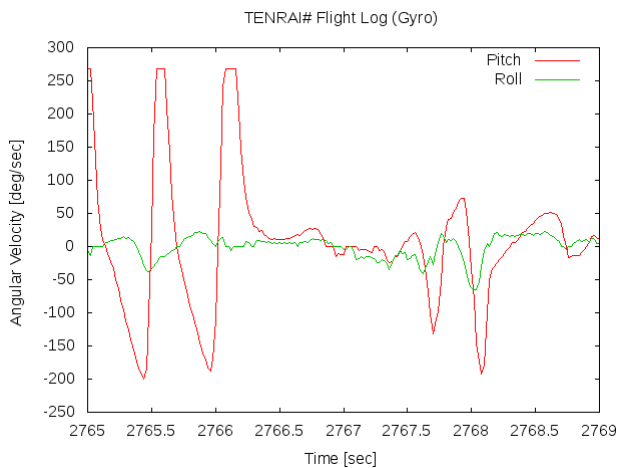


fig.17 角速度履歴(減少区間直前)

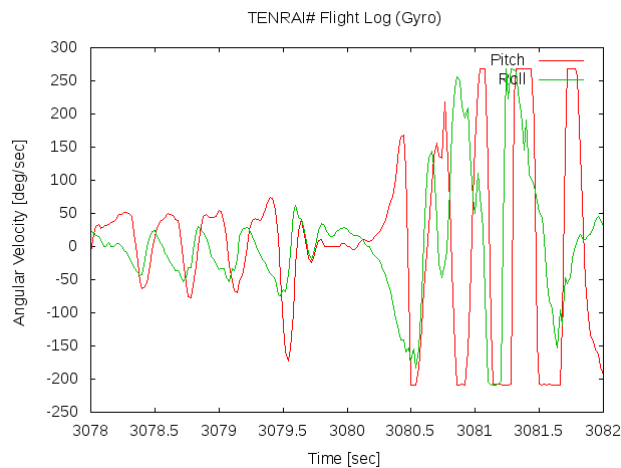


fig.18 角速度履歴(減少区間直後)

fig.18 終了部分ではロール角速度が最大-200deg/sec 程度もあり、機体のロール角が大きく変化したことが分かる。角速度の減少区間では GPS 衛星を捕捉できていなかったことから、この区間中、機体は錐もみ状態にあり、GPS のアンテナ面が上空から大きく逸れて衛星の信号を受信できなくなったものと予想される。最後に、機体の制御開始点での角速度履歴とサーボモータへの指令履歴を fig.19 と fig.20 にそれぞれ示す。制御開始後ロール角速度の振幅が減少していることが分かる一方で、ピッチ角速度については若干の減少がみられるものの、ロール角速度のような明確な変化は見られない。ピッチ側の角速度が減衰しなかった理由としては、エレボンなどを補強したことによる機体の重心の後退が考えられる。また、制御開始から 3 秒後に GPS の測位情報に基づいた機体の誘導が行われ、ロールするように指令が出された結果、ロール角速度が変化することが角速度履歴から分かる。しかし、GPS 測位履歴において、機体速度方向に変化は確認できず、機体の進行方向を変化させるほどにはロール角の変化が生じなかったものと考えられる。

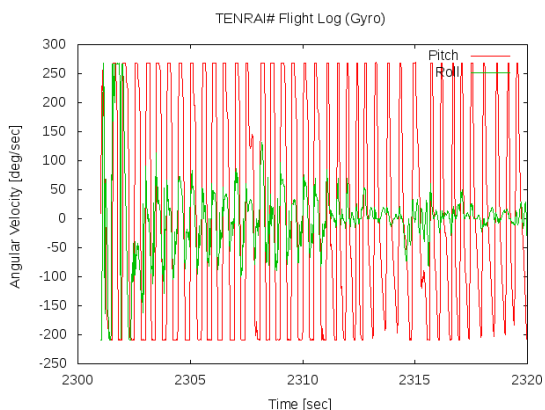


fig.19 角速度履歴(制御開始前後)

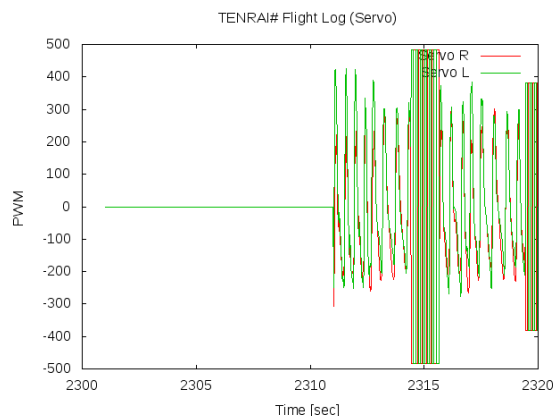


fig.20 サーボ指令値

3. 課題と反省

3.1 プロジェクト評価

今回、私たちのチームでは「機体を目標点へ向けて誘導する」、「飛行中に地上の撮影を行う」という2つのミッションの達成を目指して機体の作製を行い、ARLISS へ参加した。しかしながら、地上の撮影については、カメラからのデータ処理について通信/処理速度の問題を解決することができずに搭載を断念する結果となりそもそも撮影を行えなかった。また、機体の目標点への誘導についてもプログラムは設計通りの動きをしたものの、機体を十分に制御することができず誘導が行えなかった設計ミスという結果となった。SPindle で設定していたサクセスクライテリアに対して結果を評価するとミニマムレベルの一部項目しか達成できていないこととなる。今回 SPindle に参加して SE/PM の手法を取り入れつつ開発を行ってきたが、このような結果となった原因としては、当初の計画スケジュールに対して遅れなどの何らかの問題が発生した場合の対応をきちんと行えなかったことが挙げられる。SPindle に参加し各種レビュー会ごとにプロジェクトの状態を文書でまとめたことで、現在までに完了した事項、未完了の事項、全体スケジュール、スケジュールの消化状況などはかなり正確に把握できていたことは確かである。しかし、スケジュールの遅れなど把握している問題について上手な対応を行うことができず、せつかく得られたこれらの情報を完全には生かせなかった。機体などハードウェアの部分に関しては比較的正確な対応が行えていたもののソフトウェア面についてこの問題が顕著だった。

3.2 経験を今後どう活かすかについて

今回のプロジェクトを通して、プロジェクト評価の項でも述べたとおり、スケジュールを管理/維持することの難しさを明確に知ることができた。作業項目の洗い出し、スケジュールの立案などについては普段研究室で行っている衛星開発での経験もあってそれなりに行うことができたが、スケジュールの維持については問題が多かったように思う。今後何らかの作業/プロジェクトを行う際には特にこのスケジュールの維持を念頭に置いて取り組みたいと思う。