

東京工業大学松永研究室

B3 チーム”Project-G”

Arliss 活動報告書

～ 指導教官 ～

松永 三郎

～ メンバー ～

田中 学	B3	PM/カメラ/プログラム
青木 健	B3	構造
渡辺 将広	B3	構造
渡辺 祥広	B3	地上局/構造
古賀 洋一郎	B3	C&DH/プログラム
松下 将典	B3	GPSR/COM/基板
堀米 篤史	B3	EPS/基板

東京工業大学松永研究室

学部3年生チーム 「Project-G」

Arliss2011 報告資料

1.0 CanSat のミッション、目的

Project-G では、自由落下による微小重力作成実験、およびフィルムカメラによる高解像度写真撮影を行った。

微小重力環境作成ミッションでは通常は数百万円かかる微小重力作成を4万円という低コストでの実現の検証を行う。

また、高解像度写真撮影では1億画素相当の解像度の写真撮影を目指す。

1.1 ミッション詳細

1.1-1 微小重力作成ミッション

微小重力環境作成ミッションではロケット放出後に自由落下を行うことにより CanSat 内部に微小重力環境を生み出す。これの実現のために CanSat には姿勢の安定化のための安定翼、および自由落下からの離脱のためのパラシュート展開機構、微小重力評価のための加速度・角速度センサーを搭載する。

1.1-2 高解像度写真撮影ミッション

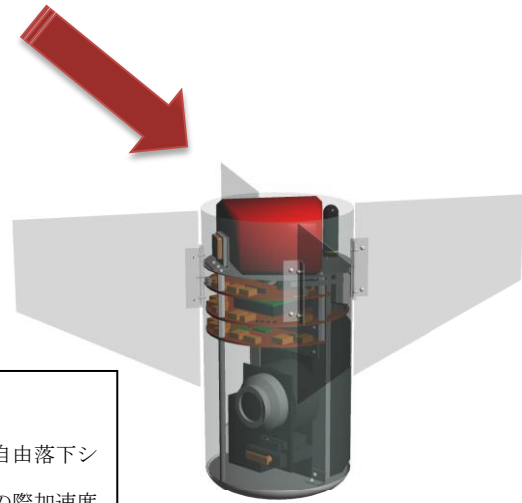
このミッションでは1億画素相当の高解像度での写真撮影を目指す。これの実現はデジタルカメラでは CanSat への搭載が困難となることから中判フィルムによる撮影を行う。また機体の振動による解像度の低下を防ぐために特定の角速度以下となった時にシャッターが切れるよう、角速度センサーとシンクロさせる。

1.2 ミッションシーケンス

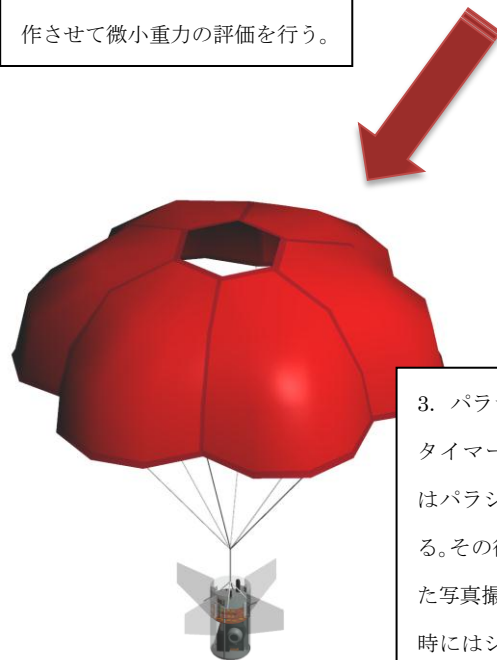
ミッションシーケンスの図解を以下に示す。



1. キャリア収納時
CanSat は翼とパラシュートを収納した状態でキャリアに収納される。



2. ロケット放出直後
CanSat は翼を展開し自由落下シーケンスに入る。この際加速度センサー、ジャイロセンサーを動作させて微小重力の評価を行う。



3. パラシュート展開後
タイマーの動作により CanSat はパラシュートを放出し減速する。その後高解像度カメラを用いた写真撮影を開始する。写真撮影時にはジャイロセンサーとシャッターのシンクロを行い、ブレによる解像度低下を最小限にする。

2.0 サクセスレベル

サクセスレベルを以下に示す。

サクセスレベル	内容
ミニマムサクセス	パラシュートの自動展開
	センサーデータの EEPROM 保存
	GPS データダウンリンク
	1 枚の写真撮影
フルサクセス	複数枚の写真撮影
	オーバーフローしない自由落下中のセンサーデータの取得
アドバンスドサクセス	2.25[deg/s]以下での写真撮影
	地平線の写真撮影

図 2 サクセスレベル

2.1 システムダイアグラム

システムダイアグラムは以下である。

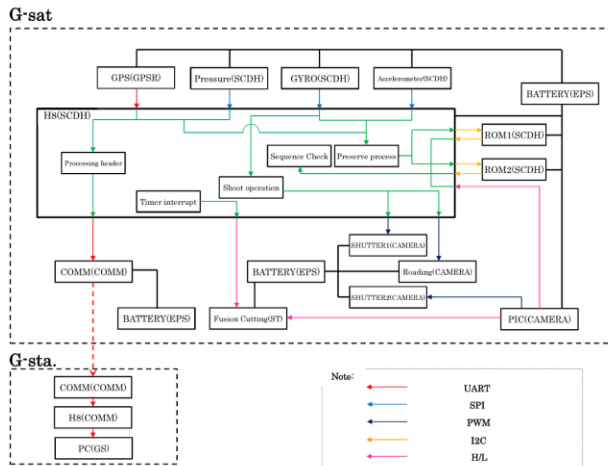


図 3 システムダイアグラム

3 機体詳細説明

3.1 プロセッサ

今回のミッションではメインのプロセッサに H8 3052F を用いている。なおこの H8 3052F は GPSR 機器である GH-84 との干渉を防ぐために一般的な 25MHz 使用のものでなく、特別な 20MHz の水晶振動子を持つものを使用している。

またバックアップのプロセッサとして PIC12F683 を搭載する。これによりパラシュートの展開機構、および写真撮影に対して冗長性が確保される。

3.2 構造

機体の構造は主にジュラルミンとポリカーボネートを用いて、比強度が高い材料を用いた。

また今回のミッション上、自由落下からの確実なパラシュート展開が必要となる。そのため確実なパラシュート展開に必要な溶断回路開発、パラシュート耐久性に重点を置いた。特にパラシュートの材料として、競技用カイトに用いられている軽量かつ高強度のリップストップポリエステルを使用した。作成したパラシュートの重量は 93g で 162cm 径のもの標準的な重量が 150g 強であることから比較的軽く作る事ができた。



図 4 リップストップポリエステル製パラシュート

3.3 カメラ

今回のミッションでは中判フィルムを用いての写真撮影を行うが、中判フィルムの画像面は 60×60mm の正方形であり、デジタルカメラの 24×36mm と比べて 2 倍ある。そのためにレンズのイメージサークルの問題から中判フィルム専用のレンズを用いる必要がある。また一般的な中判フィルムを用いるカメラは 1kg 強の重量があり CanSat への流用は困難である。

その問題の解決のためにカメラでは軽量化に重点を置いて開発を行った。レンズには MAMIYA6 の 100g 程度のものを用いた。このレンズをサーボモーターで制御することにより撮影を達成している。なおボディー等には樹脂系の材料を用いて軽量化を計っている。結果としてカメラは重量 340g まで軽量化できた。

3.4 電源・基盤

電源にはリチウム電池の CR2 を使用している。電源の供給はコンピューター、通信、GPS、カメラの 4 系統があり前者 3 つが DCDC コンバーターを用いて変圧し効率的に電力を供給している。カメラはモーターの駆動があり高出力が必要のため三端子レギュレーターを用いて変圧している。

3.5 GPSR

GPS データの取得のために古野電機の GH-84 を使用している。これは過去の Cansat で動作が証明されているために使用した。なおロケットからの放出直後でも GPS 衛星の電波を受信できるように、GH-84 に限ってはロケットの打ち上げ前から電源を ON としている。

3.6 通信

通信システムは H8 から FX614 を通して ALINCO 社の DJ-C7 で出力している。通信方式は UART を基本とした独自に作成のノイズ対策使用のものを

用いている。

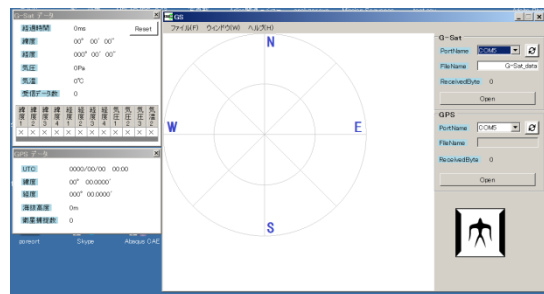
3.7 センサー

センサーには自由落下中の機体の状態の検知のために加速度センサーとして浅草ギ研の AS-3ACC-3 を使用、ジャイロセンサーとして ST 社の lpy-530al を使用した。これらのセンサーはカメラのシャッター動作にも使用するために高精度であることを基準として選定した。AD 変換には 12bitAD コンバーターをマイコンに外付けで設置しさらに精度を高めている。

高度計として VTI テクノロジ/秋月電子通商の SCP1000 を使用した。

5.8 地上局

Cansat から送信されてくる GPS データをもとにして Cansat の捜索を行うために地上局では創作車の現在地点と Cansat の位置を視覚的に表示できるプログラムを作成した。また Cansat から送信される気圧・温度データから Cansat の現在高度を表示させることも可能である。



:地上局プログラムの GUI

4 マネージメント

ProjectG のメンバーは全て学部学生であるためにミーティング等の時間の制約が多く生じた。そのためミーティングのみのメンバー同士の情報交換では担当系間の情報交換が不足すると判断し、各人がインターネット上に毎日の進捗報告のドキュメントを共有することによりこの問題を解消した。

5 開発スケジュール

4月	活動開始
	ミッション定義
	ミッション審査会
5月	単機能開発
6月	単機能開発終了
	統合開発開始
7月	EM 作成開始
	気球投下試験実施
8月	FM 作成開始
	FM1, 2号機作成完了
	能代宇宙イベント参加
9月	FM3号機制作、予備部品製作
	FM 動作試験・デバッグ
	Arliss 参加
10月	工大祭展示

6.実験内容

6.1 気球投下試験

8月1日の早朝に東工大岡山キャンパスのグラウンドにて高度50mの気球からの投下実験を行った。計3回の実験を行い以下のような結果となった。

	内容	結果
第一回	通信試験 (パラシュートを展開した状態で上空からデータを送信)	良好
第二回	パラシュート展開試験(1秒間の自由落下後にパラシュート展開)	良好
第三回	パラシュート展開試験(1秒間の自由落下後にパラシュート展開 ただし初期姿勢を反転させて投下)	パラシュート展開失敗

6.2 実機レビュー(第二回気球投下試験)

8月9日の早朝に東工大岡山キャンパスのグラウンドにて Arliss への参加資格取得のための投下実験を行った。計2回の実験を行い以下のような結果となった。なお投下高度は50mである。

	内容	結果
第一回	全機能動作試験 (1秒間自由落下予定)	パラシュート展開失敗
第二回	全機能動作試験 (1秒間自由落下)	良好

6.3 能代宇宙イベント

8月20~21日に秋田県能代市において気球からの投下実験を行った。計3回の実験を行い以下のような結果となった。

	内容	投下高度	結果
第一回	カメラ動作試験	50m	良好
第二回	通信試験	100m	良好
第三回	全機能動作試験 (自由落下時間3秒)	150m	良好

6.4 Arliss

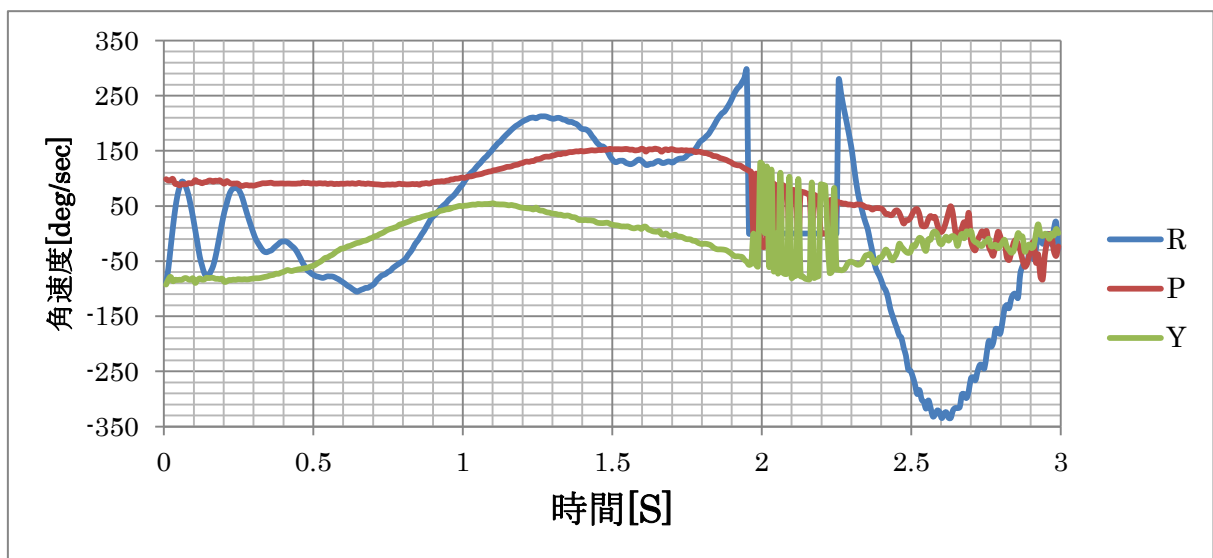
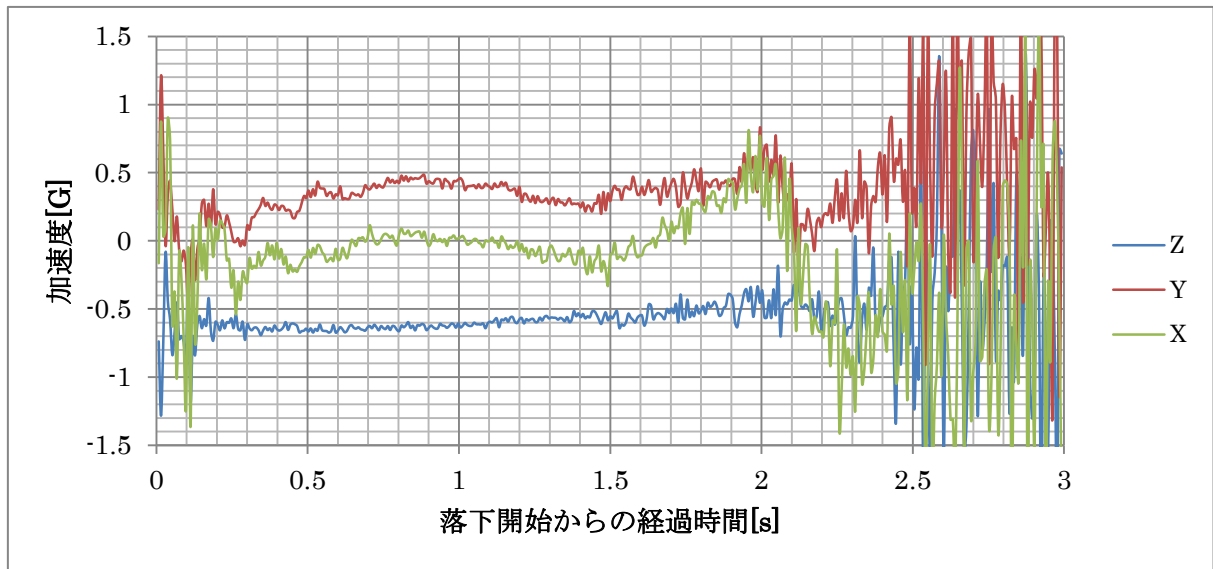
9月12~15日にアメリカ・ネバダ州ブラックロック砂漠においてロケットでの打ち上げ実験を行った。計3回の打ち上げを行い以下のような結果となった。詳細については次項を参照のこと。

	内容	結果
第一回	全機能動作試験 (予定自由落下時間7秒)	ロケットからの分離衝撃でパラシュートが展開してしまった。その他の機能は良好
第二回	全機能動作試験 (予定自由落下時間7秒)	パラシュートが展開せず。地表に衝突したがROMデータの取得には成功
第三回	全機能動作試験 (自由落下時間7秒)	複数枚の写真撮影に失敗 その他の機能は良好

7. 実験結果詳細

7.0 能代宇宙イベント

- ・日時：9月12日
- ・打ち上げロケット：能代イベントのため気球から投下(投下高度約150m)
- ・使用 Cansat：G-sat FM 2号機
- ・落下状態：正常降下
- ・予定自由落下時間2秒
- ・取得センサーデータ

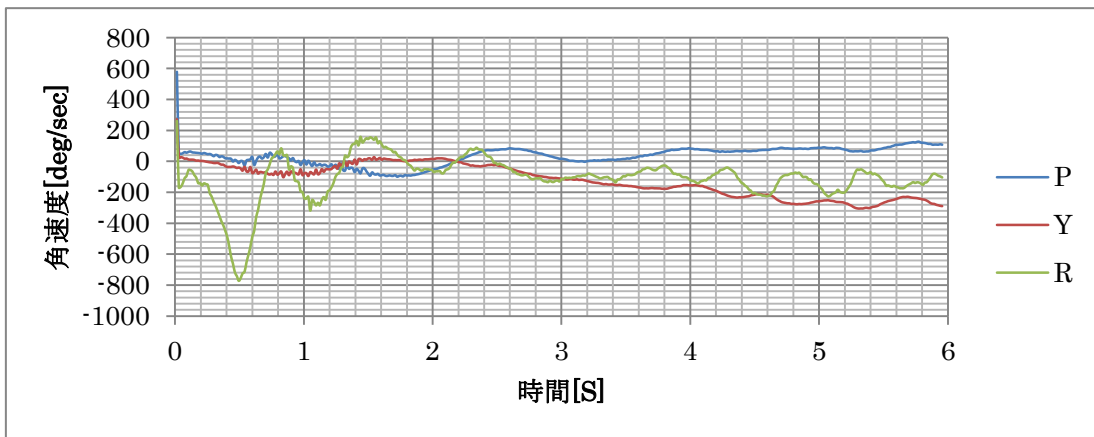
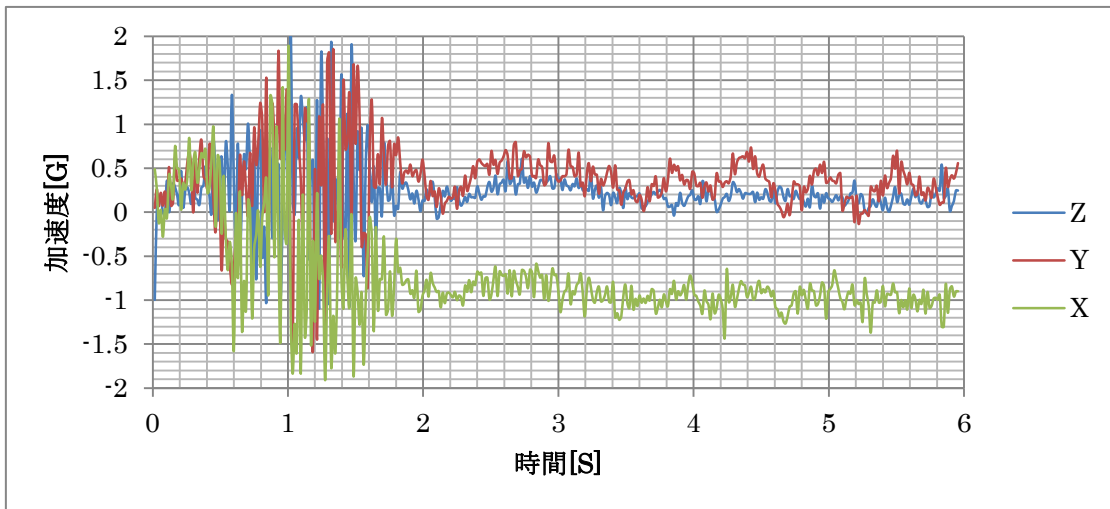


- ・写真撮影

能代宇宙イベントでは降下中に2枚の写真撮影に成功した。なおこの撮影はセンサーとのシンクロを行わずに行った撮影である。詳しくは能代宇宙イベントの活動報告書を参照のこと。

7.1Arliss 第一回打ち上げ

- ・日時：9月12日
- ・打ち上げロケット：Jamesさんのロケット
- ・使用 Cansat：G-sat FM1号機
- ・落下状態：パラシュートの展開不良(ロケット放出衝撃によるパラシュート展開・自由落下シーケンス実施せず)
- ・予定自由落下時間7秒
- ・取得センサーデータ



- ・写真撮影

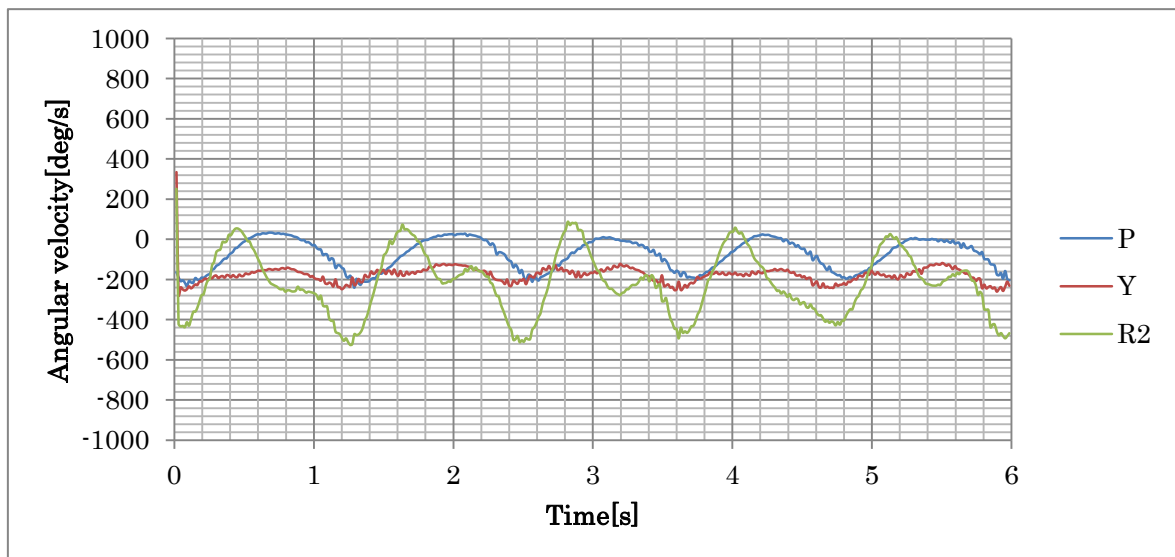
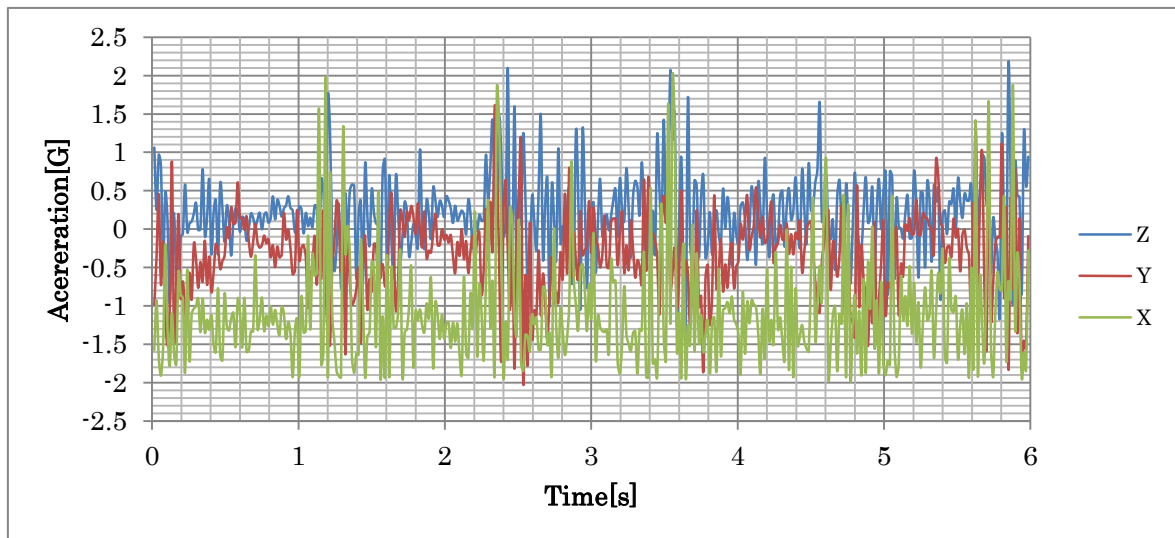
EEPROMに保存されたデータよりカメラの動作記録が得られ、また機体からのフォルムの回収にも成功をしたが、フィルムの保管に関する人為的ミスによりフィルムの現像へは至らなかった。

7.2 Arliss 第二回打ち上げ

- ・日時：9月14日
- ・打ち上げロケット：Macさんのロケット
- ・使用 Cansat：G-sat FM3号機
- ・落下状態：自由落下(機体破損)
- ・予定自由落下時間 7秒



取得センサーデータ



- ・写真撮影

第二回目の打ち上げでは、機体の地面への衝突時にカメラが大破したためにフィルムの暗室状態での回収が不可能となり画像の取得はできなかった。カメラの動作記録はEEPROMより回収できており、自由落下中に撮影の動作が行われていたことの動作は確認された。

7.3 Arliss 第三回打ち上げ

日時：9月15日

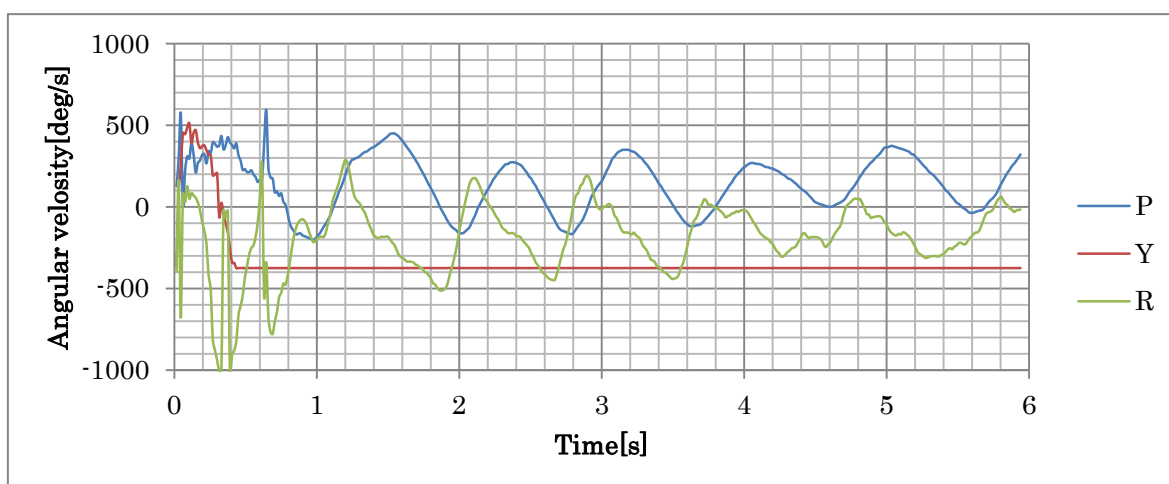
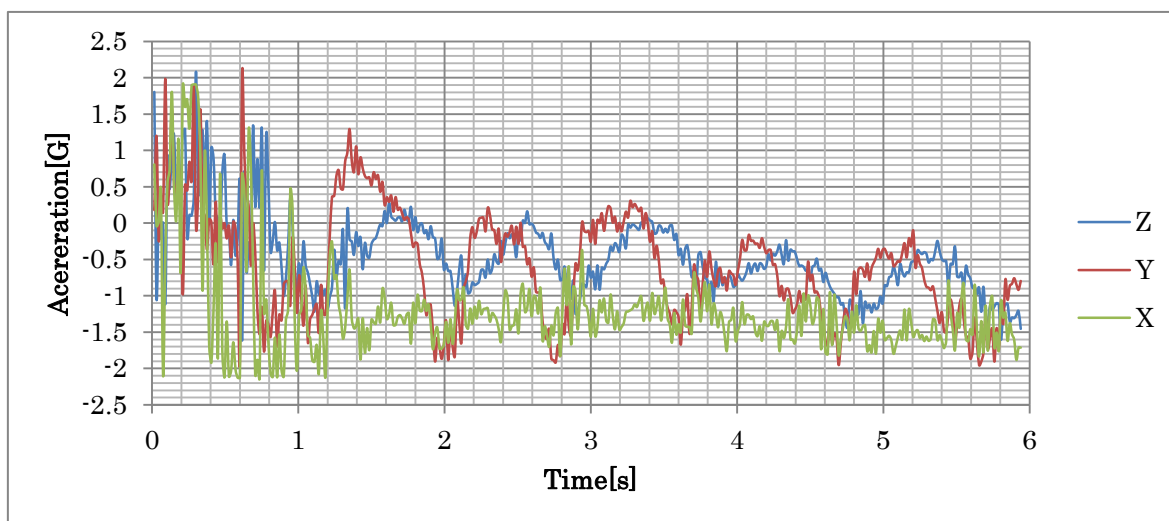
打ち上げロケット：Erickさんのロケット

使用 Cansat：G-sat FM1号機

落下状態：正常降下

予定自由落下時間 7秒

取得センサーデータ



・写真撮影

第三回目の打ち上げでは、フィルムの回収に成功した。現像の結果冗長撮影機構(サブのプロセッサ命令によっておこなわれる撮影)は行われていたが、メインのプロセッサによる撮影動作は成功しておらず、1枚の写真のみの撮影となった。

右がその際に撮影された写真であり、空を撮影したために画面が前面に青色となっている。



8. 実験結果の総括・検証

・微小重力環境作成実験

微小重力環境作成実験では機体が微小重力シーケンスを行っている必要があるためにここでは Arliss での第 1 回打ち上げは扱わない。

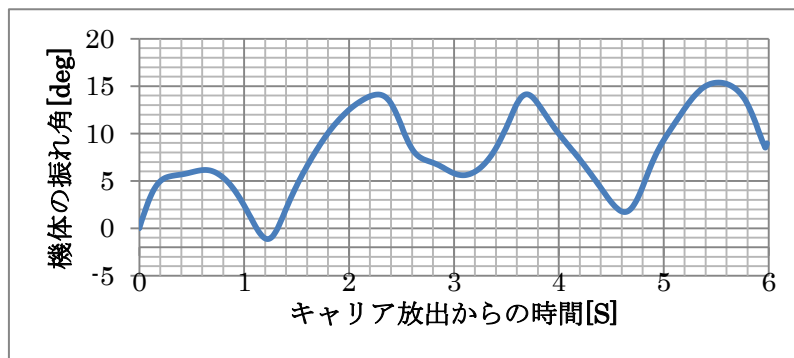
能代イベント、Arliss の両者で取得されたデータに対して共通する事柄は、加速度データは本来想定された空気抵抗による Z 軸方向の加速度と同程度の加速度が機体半径方向の X,Y 軸方向にも生じた点である。特に Arliss 第 2 回打ち上げでは加速度データのうち Z,X 軸は振動があるものの、平均としては 0G 近くになっているのに対して Y 軸は 1 G を測定しており、これが特に微小重力作成の外乱となっていることから以下ではこの Cansat 横向き方向の加速度発生の原因について考察を行う。

Cansat 横向きの加速度の生じる原因としては機体の回転があげられる。角速度データを参照すると Arliss では P,Y,R すべての軸に対しておおよそ 1.2Hz で角速度データの振動が見られる。

これは機体が回転を停止する前のコマのように回転しながらその中心軸を振り回していると考えられ、その角速度の絶対値は 200deg/s 以上である。機体のサイズと加速度センサーの配置の関係から 200deg/s の角速度で発生する横向き加速度は 0.85G であり、遠心力による機体内部への加速で発生は原因として妥当であると考えられる。また、能代イベントではセンサーデータに周期的な振動は見られず、また加速度も 0.7G 以下となっており Arliss よりも精度の高い低重力環境が作成されたといえる。これは能代イベントでは気球からの Cansat 投下であり、Arliss でのロケットからの放出と比べて放出初期での Cansat の角速度が小さいためであると考えられる。

次に Cansat の回転運動抑制のために搭載した固定式安定翼の検証を行う。

上記の通り、今回のミッションでは Cansat の回転運動による加速度発生があったために安定翼での機体の回転抑制効果は低いとみられる。一方、Cansat の自由落下時の姿勢を Arliss 第二回打ち上げ時での Cansat の鉛直方向に対する傾きをジャイロセンサーのデータを数値積分した結果から見ると下図のようになる。



機体の振れ角が 180° を超えていないことから Cansat が上下逆の状態での自由落下は起こっていないとみられ、これは安定翼の存在による空力重心の位置設計が有効に働いたと考えられる。

・高解像度写真撮影

Arliss では 1、2 回目の打ち上げでの写真撮影はそれぞれフィルム保管時の人為的なミス、機体の破損によってフィルムを現像できる形で帰国できなかった。以下では Arliss 第三回打ち上げでの結果についての総括を述べる。

第三回打ち上げではカメラを制御するプロセッサ(正・副ともに)は正常に動作しておりマイコンおよびカメラのモーターは正常に動作していたことが確認されている。一方現像済みのフィルムにおいては撮影を予定していた 8 枚の写真のうち、初回の 1 コマを除いてすべて黒潰れした写真が得られた。

初回 1 枚の撮影のみは副の系統で行っており、2~8 枚目は主系統での撮影を行っていた。このことから主系統でのトラブルが発生したと考えられる。黒潰れの写真はシャッター機構の動作不良を意味していることから主系統のシャッター動作の動力伝達機構が打ち上げ時の振動でレンズユニットから脱落したことが原因であると考えられる。

9. 機体の改善案

1. 機体の初期姿勢の安定化のための親機・子機システム

今回の実験で Cansat の初期姿勢は安定しているほうが微小重力環境作成が容易になる結果が得られた。そのためにロケット放出直後から自由落下するのではなく、姿勢が安定してから自由落下するシステムが有効であると考えられる。その実現のためには Cansat を 2 機構成として放出時の安定を制御する親機から自由落下用の子機を投下する方法があげられる。

2. 安定翼の高剛性化

今回の Cansat では安定翼はポリカーボネート製の展開式としたが、この翼では Cansat の高速降下時にフラッターを起こすために、非展開式の固定翼が有効であると考えられる。

10. 謝辞

Cansat プロジェクトをさせていただいたこの半年間で多くの方にお世話をいただきました。

松永研チーム”みるみる”の皆さん、東工大の坂本先生には毎週ミーティングを開いていただき開発のアドバイスをいただきました。Arliss プロジェクトで PM をされていた様々な大学の皆様には大会運営に様々な点からお世話になりました。

今回 Arliss で得たものは大学生活のなかでもかけがえのない大変貴重な経験となりました。今後は Arliss で得たものを反省・還元し、より大きな舞台で社会への貢献ができることを目指していきたいと思えます。

Project-G メンバー一同