

ACTS報告書

提出日:2021年 12月 26日

- チーム情報

CanSatチーム名	名古屋大学 YATAGARASU
CanSatチーム 代表者	氏名 坂口友太 sakaguchi.yuta@d.mbox.nagoya-u.ac.jp, 090-8325-3892
UNISEC団体名	名古屋大学 稲守研究室
UNISEC団体 学生代表	宮本 岳瑠
責任教員	稲守孝哉 inamori@nuae.nagoya-u.ac.jp, 052-789-5431

- メンバー

役割	名前(学年)
(プロジェクトマネージャー)・センサ系	宮本岳瑠(M1)
CDH系	藤田剛輝(M1)
CDH系	浮田大貴(B4)
副プロジェクトマネージャー・構造系	大崎嵩友(B4)
プロジェクトマネージャー代理・構造系	坂口友太(B4)
ミッション系	玉置尚也(B4)
電源系	安田豊(B4)

- CanSatの製作目的・大会参加理由

現在, 研究室で完成を目指しているcubesatに向け技術及び考え方を身に着けるため. また, 新たに仲間となる研究室メンバーと共同開発を行うことでメンバー間の信頼関係を築くため.

目次

第1章	ミッションについて	2
1.	ミッションステートメント(ミッションの意義と目的)	2
2.	ミッションシーケンス	3
第2章	サクセスクライテリア	4
第3章	要求項目の設定	5-6
1.	システム要求(安全確保, レギュレーションのための要求)	5
2.	ミッション要求(ミッションを実現するにあたり要求される性能)	6
第4章	システム仕様	7-17
1.	CanSat外観	7
2.	CanSat内観・機構	8-12
3.	システム図(CanSat搭載計器仕様一覧)	13-15
4.	アルゴリズム	16-17
第5章	試験項目設定	18
第6章	実施試験内容	19-51
第7章	工程管理, ガントチャート(スプレッドシートを推奨)	52
	各担当(ハード・ソフト・全体などの進行状況を記入)	52
第8章	大会結果報告	53-59
1.	目的	53
2.	結果	54-57
3.	考察	58-59
第9章	まとめ	60-63
1.	工夫・努力した点(ハード, ソフト, マネジメント面すべて)	60-61
2.	課題点	62
3.	今後の展望	63

第1章 ミッションについて

1. ミッションステートメント（ミッションの意義と目的）

近年、月や他の惑星の探査が盛んに行われている。そこで今回、私たちは地球を他の惑星と見立て、複数機での相互通信を行う。まず、3機の機体を電磁石により空中で分離させ別々に落下させる。機体分離後から親機と2つの子機が相互に通信を行いGPSによる相対位置の検出を行う。

2. ミッションシーケンス

ミッション達成までの流れ及び各シーケンスについての説明を以下の図を示す。

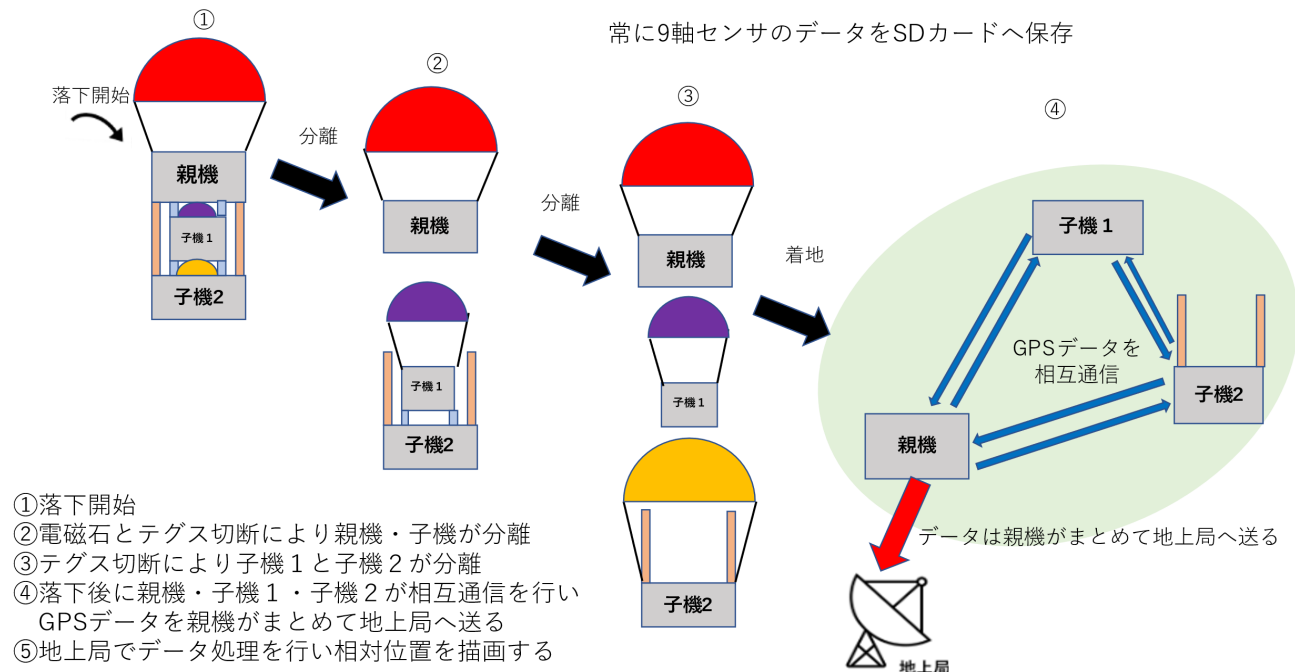


図1 ミッションシーケンスの流れ

第2章 サクセスクライテリア

ミニマムサクセス	パラシュート展開後，少なくとも2機が分離し，2機間でのGPS情報の相互通信を達成すること
フルサクセス	パラシュート展開後，3機が完全に分離し，GPS情報の相互通信を行い相対位置の検出を行うこと

第3章 要求項目の設定

1. システム要求(安全確保,レギュレーションのための要求)

要求番号	自己審査項目
	<u>ACTS安全基準</u>
R1	<u>質量と容積</u> がレギュレーションを満たすことが確認できている
R2	<u>ロスト対策</u> を実施しており,有効性が試験で確認できている (例:地上局にダウンリンクする場合, ACTSで十分な通信距離が実現できるだろうと推測できる根拠が明確に示されていること.)
R3	地表近くで危険な速度で落下させないための <u>減速機構</u> を有し,その性能が試験で確認できている
R4	打ち上げ時の <u>準静的荷重</u> によって,安全基準を充足するための機能が損なわれないことが試験で確認できている
R5	打ち上げ時の <u>振動荷重</u> によって,安全基準を充足するための機能が損なわれないことが試験で確認できている
R6	分離時の <u>衝撃荷重</u> によって,安全基準を充足するための機能が損なわれないことが試験で確認できている
R7	打ち上げ時の <u>無線機の電源OFF</u> の規定を遵守できることが確認できている (FCC認証かつ100mW以下の機器はOFFしなくて良い. また,スマートフォンを用いる場合はFCC認証かつソフトウェアまたはハードウェアスイッチでoffにできること(2017年追加))
R8	無線のチャンネル調整に応じる意思があり,また実際に調整ができることを確認できている
R9	R1-R8の充足を確認した設計の機体によって,ロケットへの装填から打ち上げ後の回収までを模擬したEnd-to-end試験を実施できており,今後,安全性に関わる大幅な設計変更はない
R10	CanSatの収納・投下準備が5分以内でできている

2. ミッション要求(ミッションを実現するにあたり要求される性能)

要求 番号	自己審査項目 (ミッション実現要求項目)
M1	パラシュート展開の衝撃により基板へ損傷を与えないこと
M2	着地の衝撃によって機能が損なわれていないこと
M3	エリア内であれば十分に通信を行うことができること.
M4	分離の際に使用するニクロム線の切断が行われていること.
M5	電磁石による親機と子機の分離ができること.
M6	ミッションの完遂に十分な電力量があること.
M7	3機間の相互通信が行われていること.
M8	3機間の相互通信に不具合が生じても復帰または2機間の相互通信に移行ができること.
M9	地上局にてデータの処理が行えること.
M10	センサでデータを取得し、SDカードに保存できること.

第4章 システム仕様

1. CanSat外観

機体の外観を以下に示す.



図2 機体外観

直径 [mm]	14 0
高さ [mm]	23 0

2. CanSat内観・機構

下にCADモデルを示す。なお、機体は3機に分離し上の機体から親機、子機1、子機2として名前付けをしている。

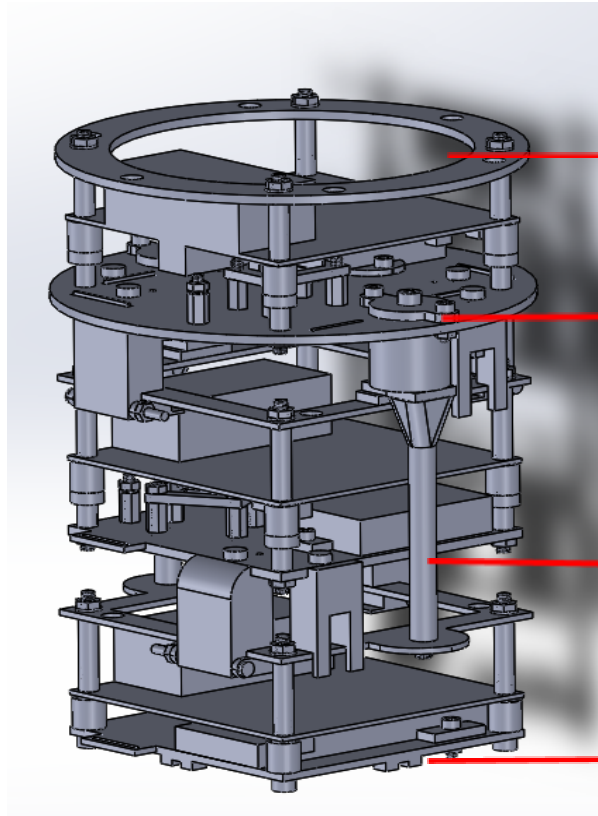


図3 全体CADモデル

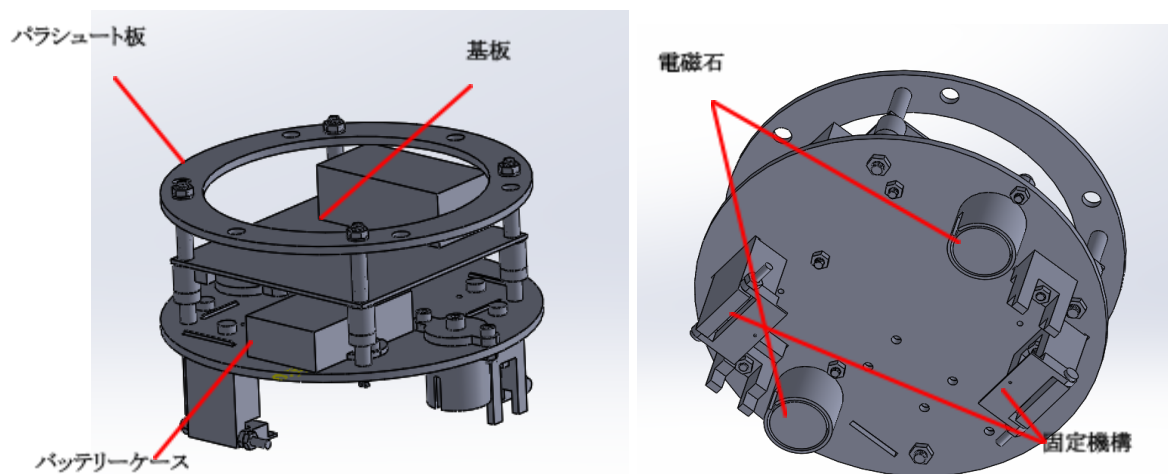


図4 親機CADモデル(左:側面 右:底面)

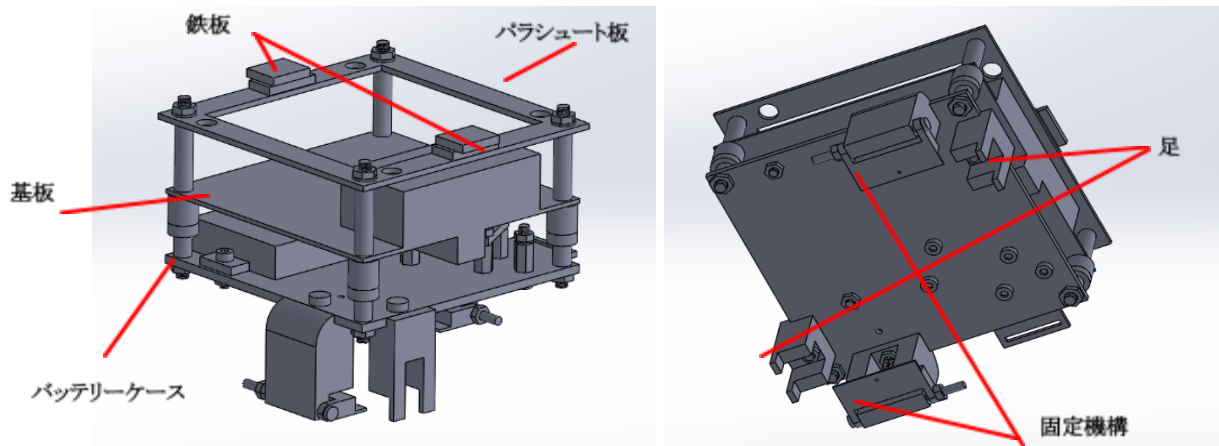


図5 子機1CADモデル(左:側面 右:底面)

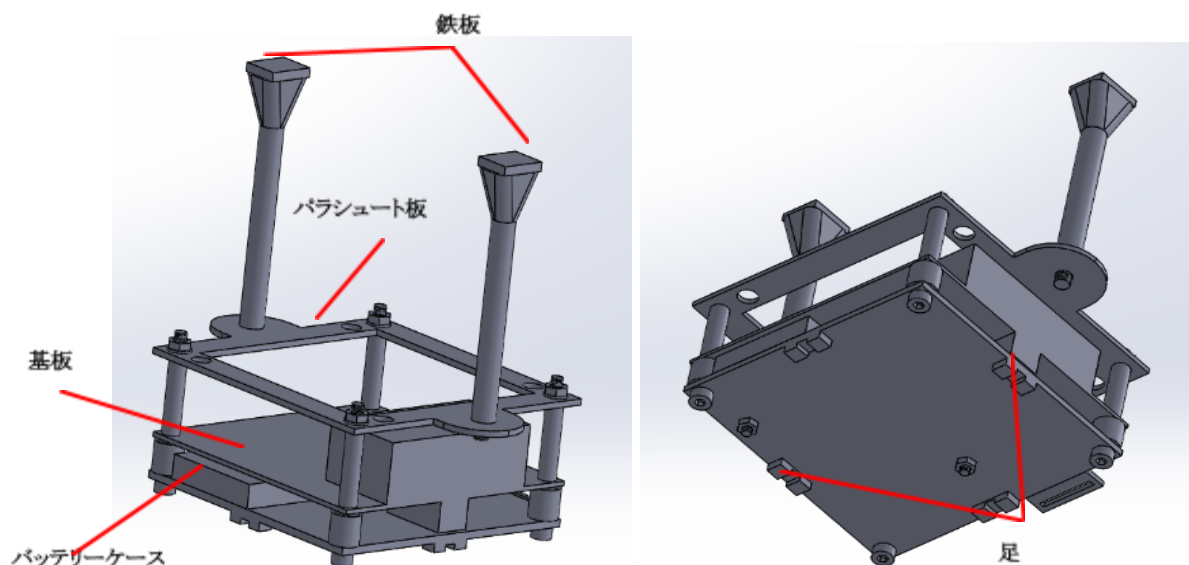
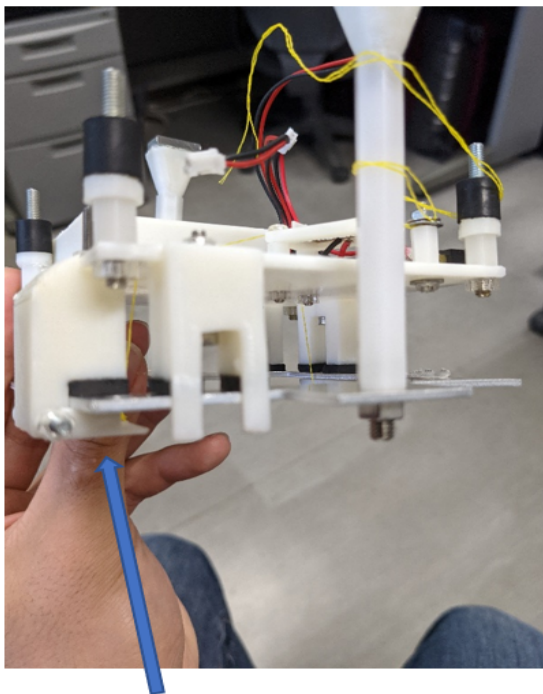


図6 子機2CADモデル(左:側面 右:底面)

分離機構について説明を加えておく。まず、親機に電源投入されることで、子機1と2は分離しないまま親機から分離する。親機と子機1は、電磁石及びテグスによる固定機構で固定されている。電源が投入されることで、電磁石は磁力がなくなり、固定機構においてはテグスが切断されて爪が開く。爪が開く様子は図7に示した。また、親機と子機2は、電磁石のみで固定されている。このとき、1つの電磁石に対して子機1、2それぞれの鉄板1枚ずつと固定されている(図8)。

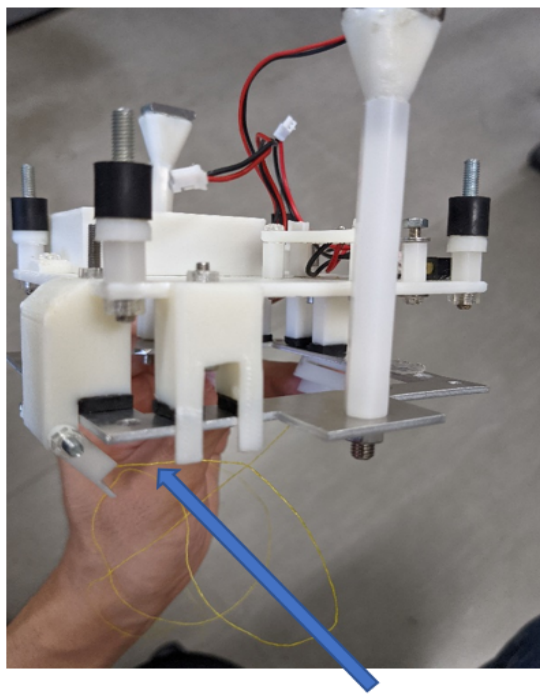
次に、子機1に電源投入されることで、子機1、2が分離する。子機1、2は、テグスによる固定機構のみで固定されている。電源が投入されることで親機と子機1の分離同様に、固定機構においてテグスが切断されて爪が開く。

なお、テグスは図9のようになっている。片端は爪で結ばれており、バッテリー搭載板に開けた穴、熱抵抗を載せた小基板の上を經由して、もう片端はナットとワッシャーで挟まれ、張った状態で固定されている。電源が投入されると、熱抵抗で発生した熱でテグスが切断される仕組みになっている。



閉じた状態の爪

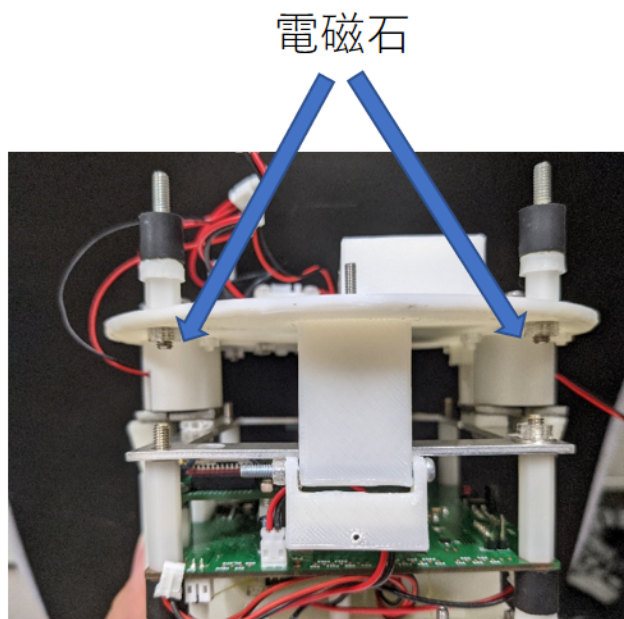
(a) テグス切断前



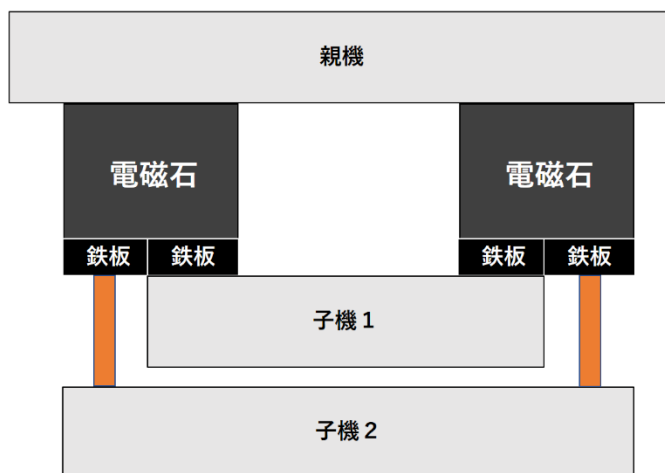
開いた状態の爪

(b) テグス切断後

図7 爪が開く様子

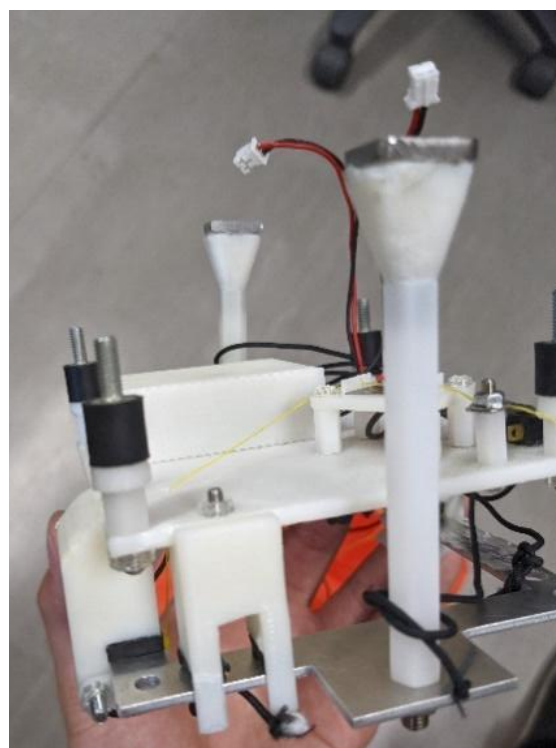
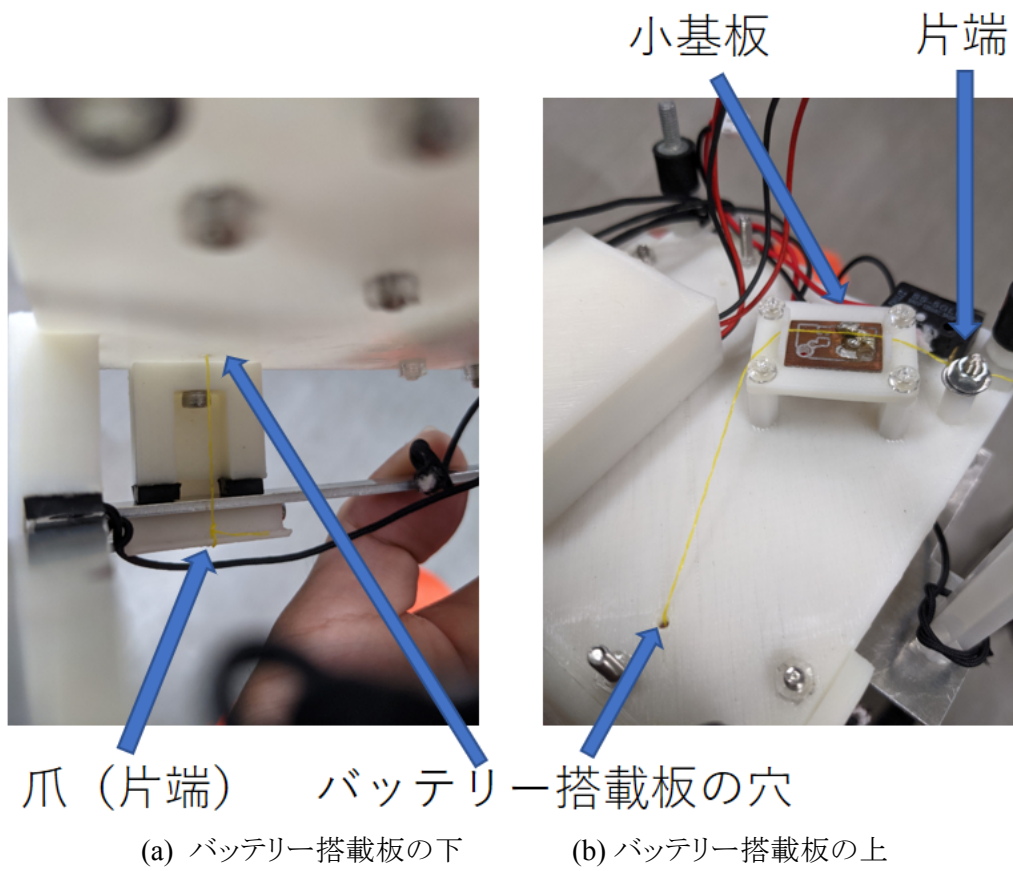


(a) 写真



(b) 略図

図8 電磁石と鉄板の様子



(c) 全体図

図9 テグスがかかっている様子

3. システム図 (CanSat搭載計器仕様一覧)

システム図を以下の図に示す.

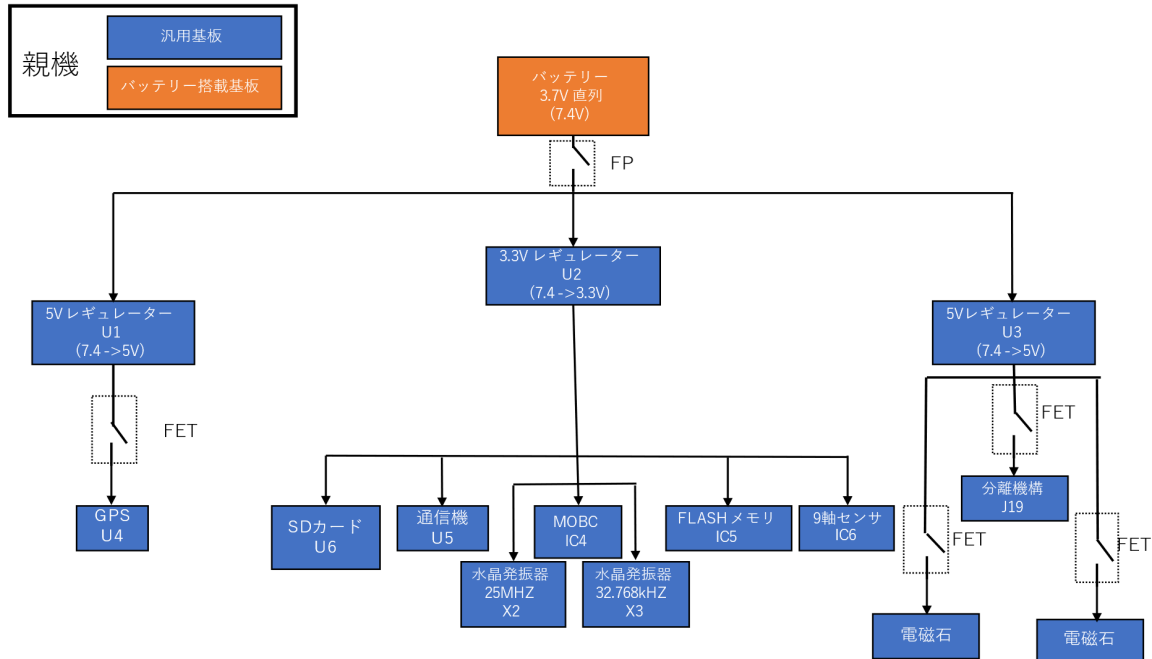


図10 親機システム図

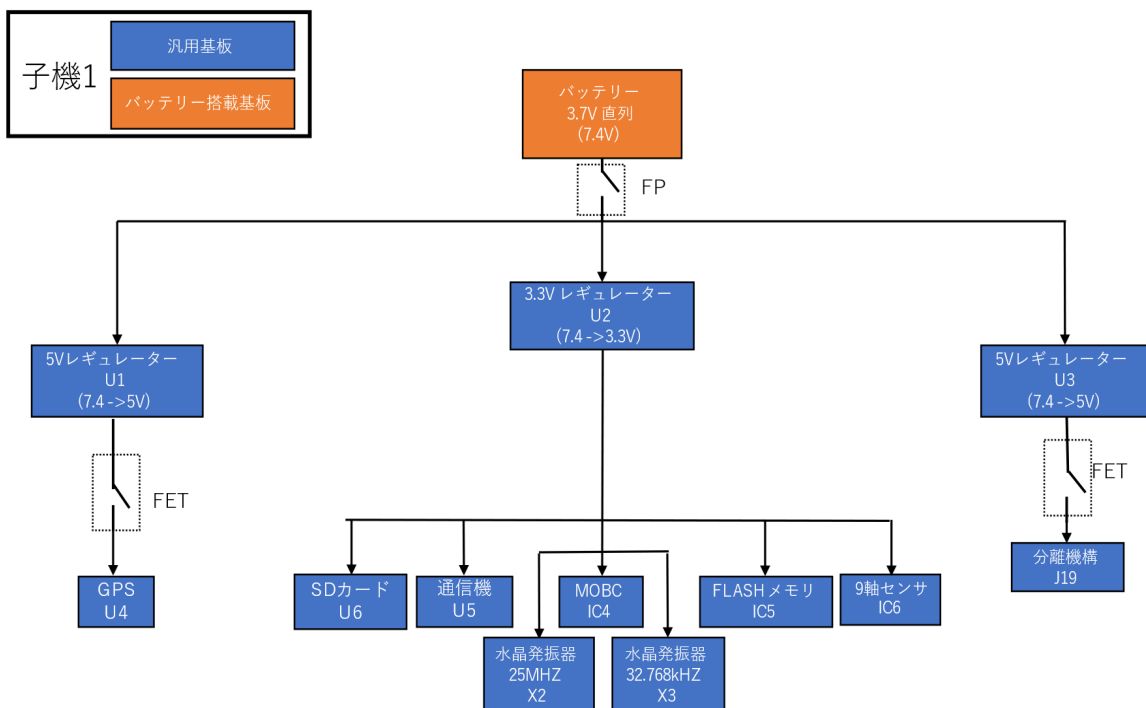


図11 子機1システム図

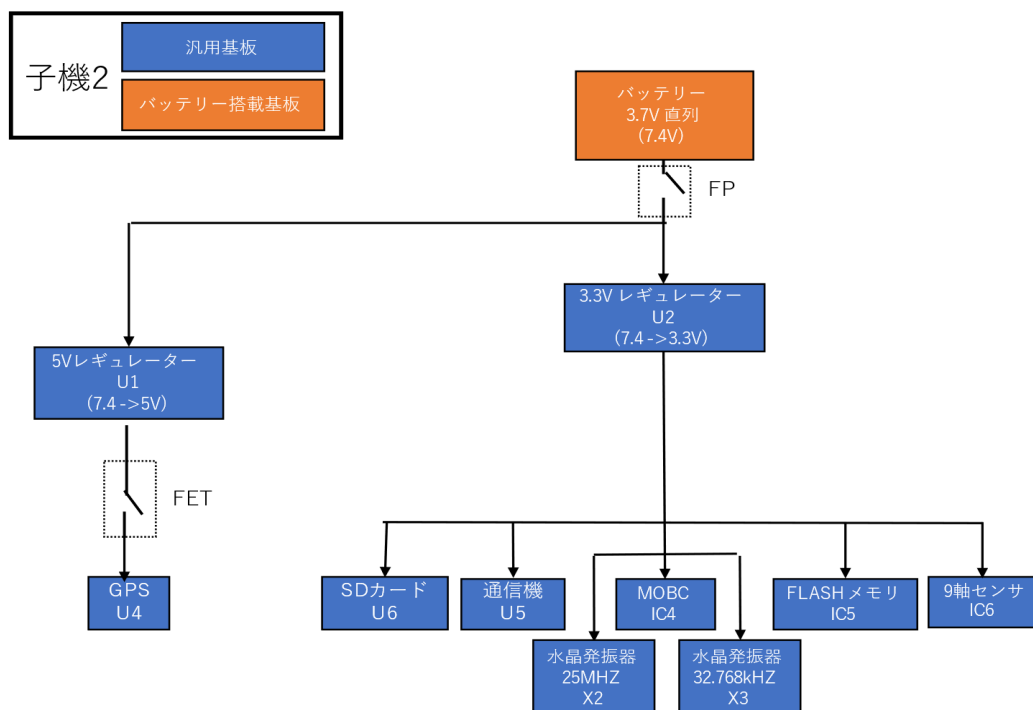


図12 子機2システム図

また、機体搭載計器およびそのデータシートの一覧表を以下の表に示す。

表1 機体搭載計器およびそのデータシートの一覧表

機体搭載計器一覧	
計器名	データシート
9軸センサ BMX055	https://www.mouser.jp/datasheet/2/783/BST-BMX055-DS000-1509552.pdf
GPS受信キット1PPS出力付き 「みちびき」3機受信対応	http://akizukidenshi.com/download/ds/taiyouyuden/GYSFDMAXB_spec_ae.pdf
通信機 ES920LR	https://easyl5.com/documents/files/ES920LR%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF%E3%82%B7%E3%83%BC%E3%83%88_1.05.pdf

使用電源として使用電源としてDTP Battery社のリチウムイオンポリマー電池を使用する。使用モデルのデータシートを以下に示す。

http://www.aska-elt.jp/products/up_img/1479280789-731448.pdf

データシートに記載があるように、本バッテリーは振動や衝撃等に対する耐性が試験により確認されている。しかしながら、大きな振動等が加わると危険が及ぶと考え、図13に示すように緩衝材をバッテリーケースに取り付けた。また、選考理由として我々の研究室での使用実績があることも考慮した。

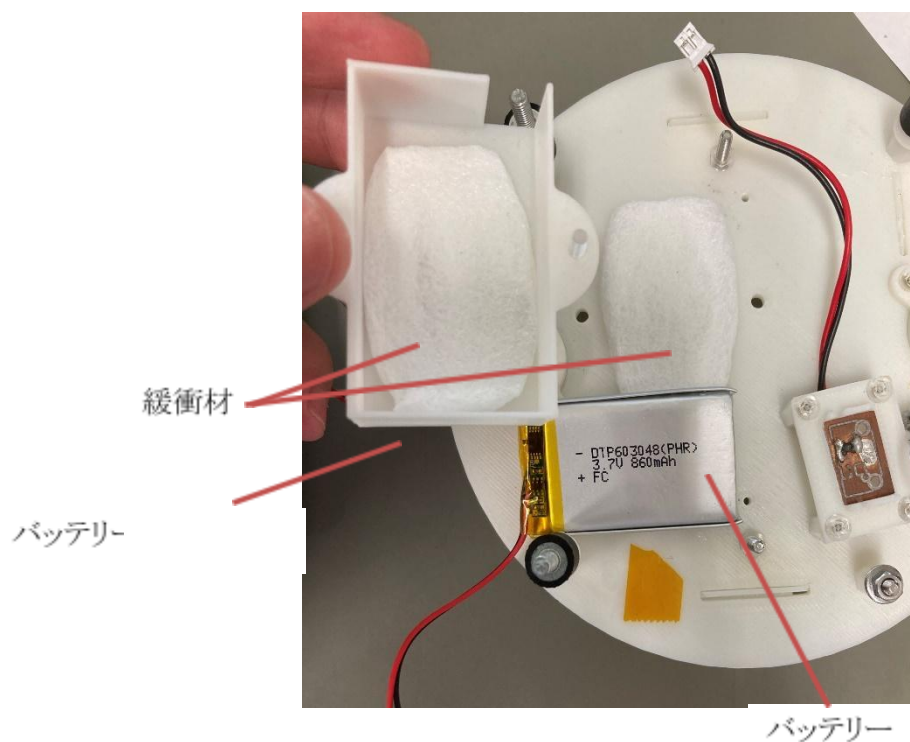


図13 使用するバッテリーと緩衝材

4. アルゴリズム

分離シーケンス

指定した時間でナイロン線(テグス)を切断し、二つの電磁石に電流を流すことで親機と子機の間を分離させる。その後、子機間のナイロン線を指定した時間で切断し、子機群を分離させる。

データ保存シーケンス

◇ 9軸センサ

解析用に加速度、角速度、磁束密度を測定する。指定した一定時間間隔で測定し、SDカードに保存する。

◇ GPS

ロスト対策として機体の位置情報を測定する。子機では測定した位置情報を、指定した一定時間間隔で通信機を用いて親機に送信する。親機は全ての子機の位置情報を受信した後、親機と子機の相対距離を計算し、親機の位置情報と子機の相対位置情報を地上局に通信機を用いて送信する。

以下に通信アルゴリズム及び分離アルゴリズムのフローチャートを掲載する

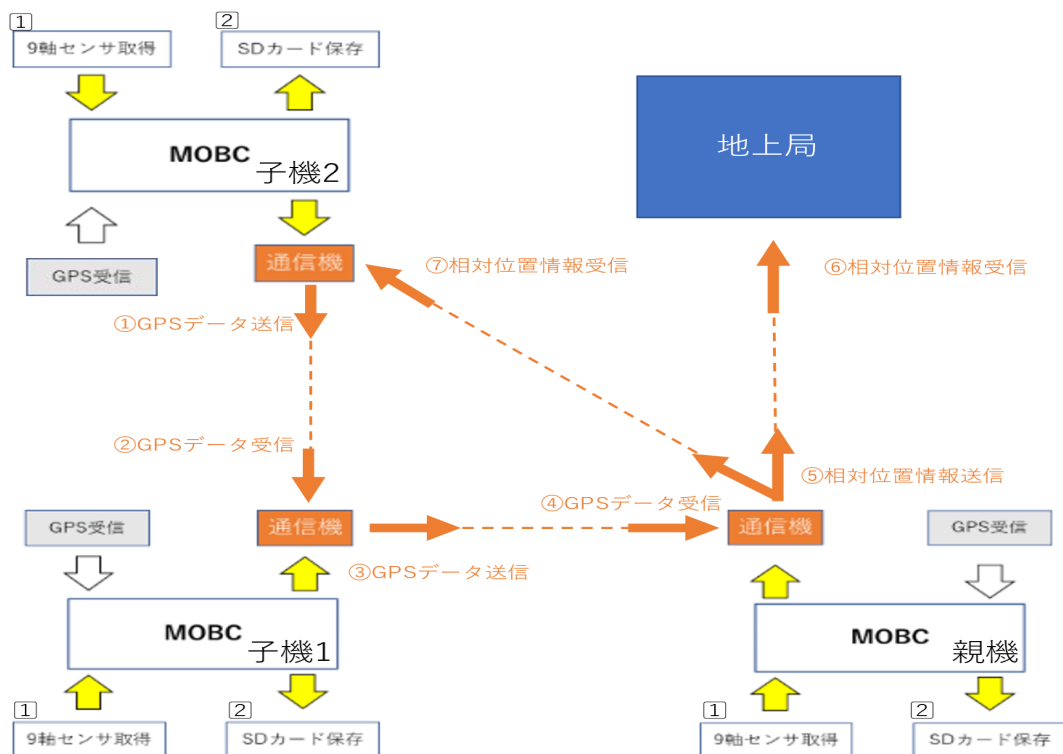


図 14 通信アルゴリズム概要図

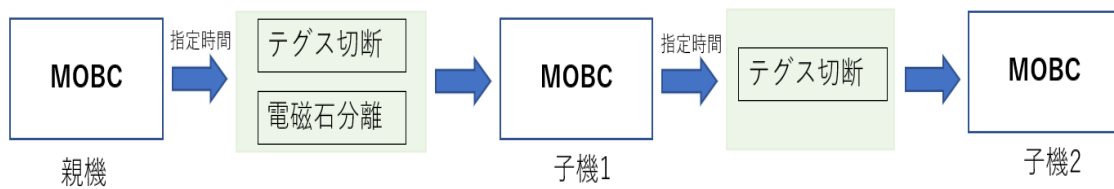


図15 分離アルゴリズム概要図

また、通信アルゴリズムに不具合が発生した場合は図16のようにして地上局からコマンドを送り通信アルゴリズムを再スタートさせるようにした。

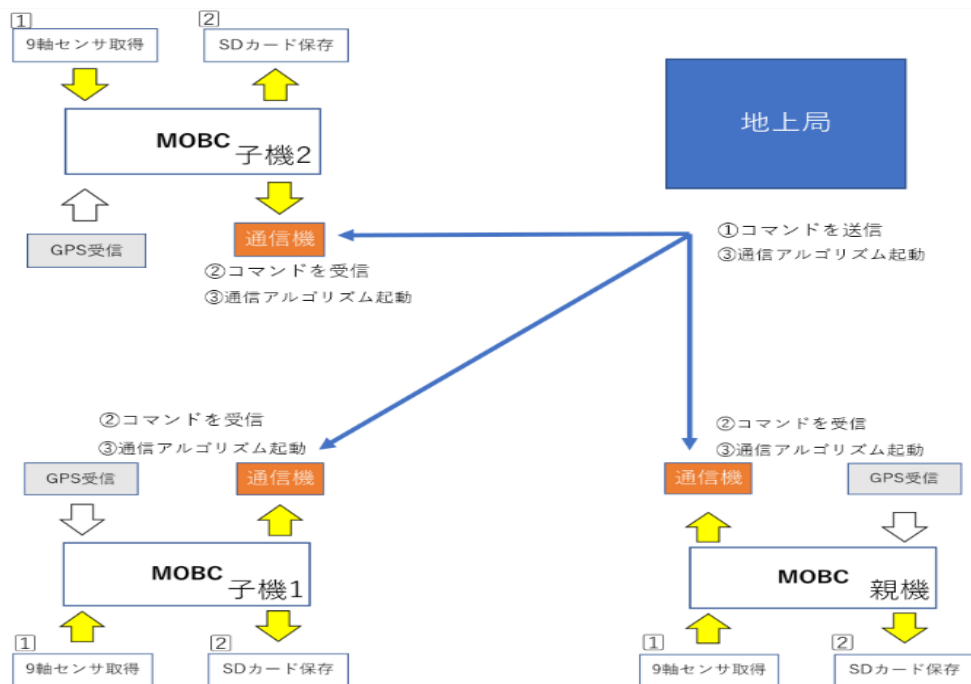


図16 アノマリー時のアルゴリズム概要図

第5章 試験項目設定

番号	検証項目名	対応する自己審査項目の 要求番号（複数可）	実施
V1	質量試験	R1	8/27
V2	通信距離試験	R2, M3	6/28
V3	落下試験 (含：パラシュート展開試験 傘開衝撃試験)	R3, M1	8/26
V4	準静荷重試験 (含：データ取得・保存試験)	R4, M8	7/23
V5	振動試験	R5	8/23
V6	分離衝撃試験	R6	8/23
V7	通信機電源ON/OFF試験	R7	8/26
V8	周波数変更試験	R8	8/28
V9	着地衝撃試験	M2	7/21
V10	ミッションフィージビリティ試験 (含：機体分離試験)	M4, M5	6/29
V11	電気統合試験	R2, M6	8/28
V12	通信確認試験	M7	8/28
V13	総合通信試験	M7, M8	9/13
V14	地上局動作試験	M9	9/15
V15	End-to-end 試験	R9, M1, M10	9/15
V16	キャリア収納・放出試験	R1, R10	7/9

第6章 実施試験内容

(V1) 質量試験

- 目的
質量がレギュレーションを満たしていることを確認する
- 試験内容
全モジュールを計りで計測し、1050g以下であることを確認する。
- 結果
質量は949.2gであった。レギュレーションの1050g以内であることを確認した。



図17 質量試験結果

試験動画リンク : <https://youtu.be/Ehxc7Uuycl4>

- 考察
これから構造の改良等を加えても、レギュレーションの1050gに対して余裕の持てる質量であると考えられる。

(V2) 通信距離試験

- 目的

CanSatのロスト対策が十分であることを確認するため、ACTS本番で想定され得るCanSatと地上局（PC）間の最大距離で通信可能であることを、実機を用いて確認する。

- 試験内容

概要

本チームは3機のCanSatの分離をミッションとしており、親機、子機1、子機2、地上局の4つの通信機を運用する。そのため、親機と地上局、子機1と地上局、子機2と地上局においてそれぞれ通信できることを確認する。

試験に伴い、本番ではGPS情報を送受信する予定であるが、今回はプログラムが未完成だったため、GPS情報（緯度と経度）と同じbyte数のダミーデータを送受信することで通信可能であることを検証する。

なお通信の確認には地上局PC上の「つなたーむ（データの表示を行うソフト）」で行い、その様子を「ゲームバー」で録画する。

試験手順

- 1 親機にバッテリーを繋ぎ電源投入する。電源投入された時点でプログラムが開始し、10s毎にデータを送信する。
- 2 親機から送られたデータを地上局の通信機で受取り、PC上の「つなたーむ」で表示する。
- 3 地上局（PC）を0m地点として親機を地上局から遠ざけ、300m地点において送受信できることを確認する。途中100m地点、200m地点においても通信状況を確認する。
- 4 子機1、子機2も同様に試験する。

以下に試験手順をまとめたフローチャートを示す。

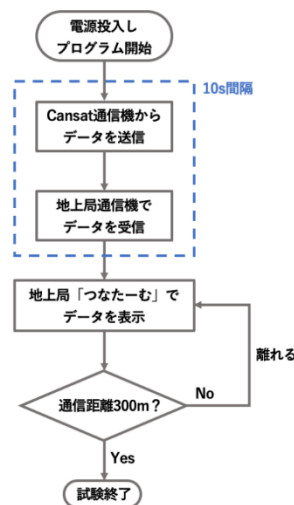


図18 通信距離試験フローチャート

諸条件

試験場所：名古屋大学構内

今回使用する通信機：ES920LR (920MHz帯)

https://easel5.com/documents/files/ES920LR%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF%E3%82%B7%E3%83%BC%E3%83%88_1.05.pdf

ダミーデータのbyte数：19byte (緯度:8byte, 経度:9byte, 改行:2byte)

- 結果

試験動画リンク

親機： <https://youtu.be/ePyycD6cMKQ>

子機1： <https://youtu.be/C1LR4HgEmCA>

子機2： <https://youtu.be/Q2i6RGgdZxI>

- 考察

地上局の位置（開始地点）と300m地点（目標地点）をGoogleMap上に出力したものを図に示す。



図19 CanSat通信距離

試験結果より地上局とCanSatが300m離れていたとしても通信可能であることが確認できた。またACTS本番ではCanSatが落下した方向を目視で確認しそちらに向かうことで、300mより短い距離で通信が行えることが想定される。以上よりACTS本番でも地上局とCanSat間で通信を行うことで、CanSatの位置を特定し回収することが可能であり、ロスト対策として十分だと判断した。

(V3) 落下試験(含:パラシュート展開試験, 開傘衝撃試験)

- 目的

パラシュートが正常に展開し, 減速ののち終端速度になることを確認する.
 親機のための終端速度が, 子機1, 2それぞれのみの終端速度より小さくなることを確認する.
 (子機分離後に親機と子機とが空中で絡まらないことの確認)
 パラシュート開傘の衝撃が加わっても, CanSatの構造に損傷がないことを確認する.

- 試験内容

本試験は通信機電源ON/OFF試験と同時に行う.
 CanSatに実際に使用するパラシュートを取り付け, 建物(名古屋大学 赤崎記念館)の6階(地上19.7m)から落として, 展開の可否や落下挙動を確認する.
 ✧ 減速機構が正しく機能すれば, 地上付近では減速能力に応じて一定速度となっているはずである.
 全機(親機が子機を把持した状態), 親機, 子機1, 子機2の4つの構成で試験する.
 なお親機のみについては, 減速を確認するため後述する通信機電源ON/OFF試験を行わないため基板は搭載せず, 金属製のネジやナットをこぼれないように機体に巻きつけ実際の重量に近づけたダミーマスをを用いて試験を行った.
 事前検討として次式をもとにCanSatが減速し終端速度が設定値となるようにパラシュートを設計した.

$$S = \frac{2mg}{C_d \rho V^2} \quad (1-1)$$

以下に第1パラシュート(全機・親機用), 第2パラシュート(子機1用), 第3パラシュート(子機2用)のパラメータを示す.

表2 第1パラシュート(ピンク色)のパラメータ(全機)

S	パラシュート面積 [m^2]	1.34
m	CanSat質量 [kg]	1.05(機体推定質量)
g	重力加速度 [m/s^2]	9.8
C_d	抗力係数 [-]	0.8
ρ	大気密度 [kg/m^3]	1.2
V	落下速度 [m/s]	4.0

表3 第1パラシュートのパラメータ(親機のみ)

S	パラシュート面積 [m^2]	1.34
m	CanSat質量 [kg]	0.45(機体推定質量)
g	重力加速度 [m/s^2]	9.8
C_d	抗力係数 [-]	0.8
ρ	大気密度 [kg/m^3]	1.2
V	落下速度 [m/s]	2.62

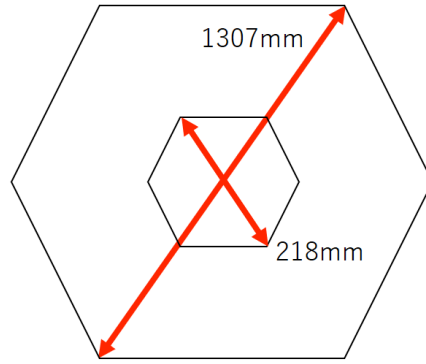


図 20 第1パラシュート(ピンク色)の形状

計算の結果, パラシュート形状を正六角形としたとき, 対角は1307mmとなった. また, 空中での姿勢安定化のためパラシュート中央に対角が218mmの正六角形の穴をあけた.

表 4 第2パラシュート(橙色)のパラメータ(子機1のみ)

S	パラシュート面積 [m^2]	0.383
m	CanSat質量 [kg]	0.3(機体推定質量)
g	重力加速度 [m/s^2]	9.8
C_d	抗力係数 [-]	0.8
ρ	大気密度 [kg/m^3]	1.2
V	落下速度 [m/s]	4.0

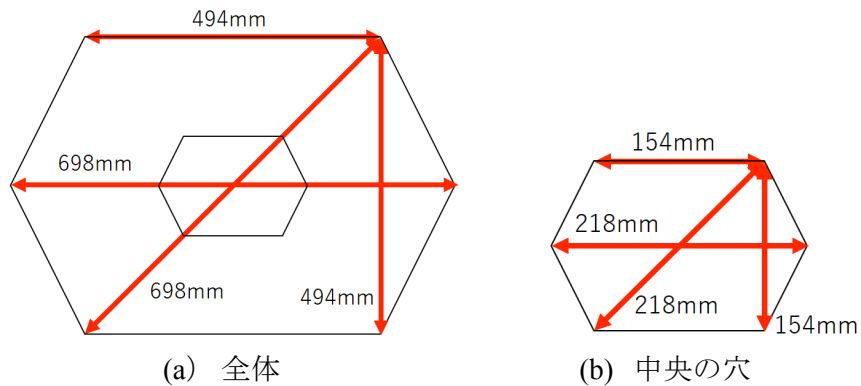


図 21 第2パラシュート(橙色)の形状

計算の結果, パラシュート取付板の形状に合わせてパラシュート形状を正方形としたとき, 対角は698mmとなった. ただし, パラシュートの形状を正六角形に近づけるため全ての対角が698mmとなるように二等辺三角形を組み合わせ, 図21のように設計した. また, 空中での姿勢安定化のためパラシュート中央にパラシュート形状と相似な六角形の穴をあけた.

表 5 第2パラシュート(紫色)のパラメータ(子機2のみ)

S	パラシュート面積 [m^2]	0.383
m	CanSat質量 [kg]	0.3(機体推定質量)
g	重力加速度 [m/s^2]	9.8
C_d	抗力係数 [-]	0.8
ρ	大気密度 [kg/m^3]	1.2
V	落下速度 [m/s]	4.0

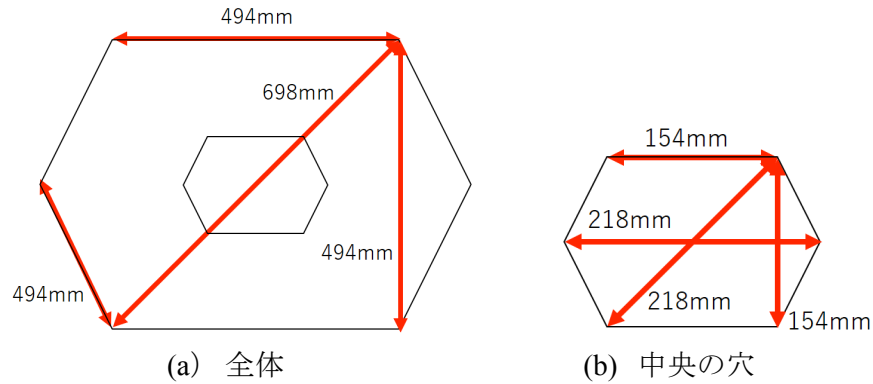


図 22 第3パラシュート(紫色)の形状

計算の結果、パラシュート取付板の形状に合わせてパラシュート形状を正方形としたとき、対角は698mmとなった。ただし、パラシュートの形状を正六角形に近づけるため六角形の辺の長さが等しくなるよう二等辺三角形を組み合わせ、図22のように設計した。また、空中での姿勢安定化のためパラシュート中央にパラシュート形状と相似な六角形の穴をあけた。

試験手順を以下に記載する。

- 1 周囲に人がいないことを確認する。
- 2 機体にタコ糸を取り付け、一端を地上のメンバーが保持する。
(風にあおられるなど、物に当たりそうな場合には引っ張り予防する)
- 3 実験場所付近に人が立ち入らないよう、メンバーで周囲を囲み封鎖する。
(封鎖範囲は高さと同じ半径の円)
- 4 落下させる人は紐が絡まってないかを確認する。
- 5 パラシュートを引っ張り、機体とパラシュートの接続を再確認する。
- 6 カメラで撮影を開始する。(動画撮影で落下速度計測も兼ねる)
この時「(日時) (時間) CanSatの落下試験を行います」と動画に残し、階段上の人へ合図する。
- 7 機体を落下開始地点から放り投げる。
- 8 機体着地後、構造に損傷がないかを確認する。
- 9 撮影を終了し機体を回収、片付け。
- 10 この一連の手順を親機、子機1、子機2、全機で行い、(可能なら)複数回ずつ行う。

- 結果
親機のみ

表 6 落下試験結果 (親機のみ)

時間 (投下～開傘) [s]	時間 (開傘～着地) [s]	開傘時の高度[m]	終端速度 (計測値) [m/s]	終端速度 (設計値) [m/s]
1.80	2.89	9.456	3.27	2.62

機体の落下開始から1.80秒後にパラシュートが開傘し、その後は等速直線運動を仮定すると、終端速度は3.27m/sと見積もられる。これより、設計値2.62m/sとおおむね一致した。

試験動画リンク: <https://youtu.be/IVjzMCKIm5o>

子機1のみ

表 7 落下試験結果 (子機1のみ)

時間 (投下～開傘) [s]	時間 (開傘～着地) [s]	開傘時の高度[m]	終端速度 (計測値) [m/s]	終端速度 (設計値) [m/s]
1.86	2.40	17.73	7.39	4.00

機体の落下開始から1.86秒後にパラシュートが開傘し、その後は等速直線運動を仮定すると、終端速度は7.39m/sと見積もられる。これより、設計値4.00m/sと比べ大きい結果となった。

試験動画リンク: <https://youtu.be/xA0pVjOALyU>

子機2のみ

表 8 落下試験結果 (子機2のみ)

時間 (投下～開傘) [s]	時間 (開傘～着地) [s]	開傘時の高度[m]	終端速度 (計測値) [m/s]	終端速度 (設計値) [m/s]
0.83	6.57	20.49	3.12	4.00

機体の落下開始から0.83秒後にパラシュートが開傘し、その後は等速直線運動を仮定すると、終端速度は3.12m/sと見積もられる。これより、設計値4.00m/sと比べ小さい結果となった。

試験動画リンク: <https://youtu.be/jEvV9MQkWQw>

全機

表 9 落下試験結果 (全機)

時間 (投下～開傘) [s]	時間 (開傘～着地) [s]	開傘時の高度[m]	終端速度 (計測値) [m/s]	終端速度 (設計値) [m/s]
1.43	2.57	15.76	6.13	4.00

機体の落下開始から1.43秒後にパラシュートが開傘し、その後は等速直線運動を仮定すると、終端速度は6.13m/sと見積もられる。これより、設計値4.00m/sと比べ大きい結果となった。

試験動画リンク: <https://youtu.be/GvSGunrAztM>

- 考察
空中でCanSatのパラシュートが正常に展開することを確認した。

終端速度の事前検討値との違いは、パラシュート紐の結び方や、試験当日の環境によるものであると考えられるが、パラシュート展開によりおおむね事前検討通りの終端速度をとることを確認した。

親機のための終端速度が子機のための終端速度よりも小さい、またはほぼ同じになることを確認した。

パラシュート開傘の衝撃が加わった際の構造の損傷は見られなかった。これは、パラシュート板をフィラメントでなくアルミを用いたことが要因だと考えられる。しかし、動画内ではその確認ができなかったためEnd to end試験の結果と合わせて検証する。

(V4) 準静的荷重試験(含：データ取得・保存試験)

- 目的

打ち上げ時の準静荷重により、CanSatの機能・安全機能が喪失しないことを確認する。

レギュレーションにより、10Gの準静的荷重に耐える必要がある。以下に示す方法により10Gの準静的な負荷をCanSatに与え、試験の前後でCanSatの構造に変化がないか、また電源を入れた際の挙動に変化がないか確認する。

9軸センサによって得られたデータをSDカードに保存し解析に用いる。

- 試験内容

CanSat本機をバケツに入れ、緩衝材等を詰め養生テープで固定する。そのバケツにひもを付けて振り回し、遠心力により10Gの負荷を達成する。

試験の概要図を図23に示す。遠心力は $F = mr\omega^2$ であるから、回転半径(紐の長さ)を $r = 2.5m$ 、回転速度を $\omega = 1.0\text{ Hz}(= 6.28\text{ rad/s})$ とすることで

$$r\omega^2 = 2.50 \times 6.28^2 = 98.596 \frac{m}{s^2} = 10.06\text{ G} \text{ となる。}$$

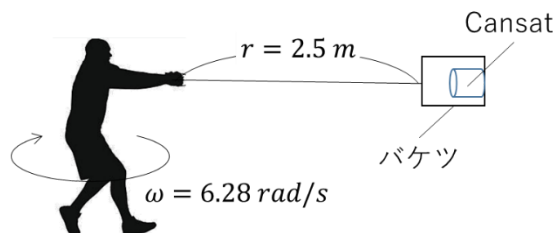


図 23 準静的荷重試験の概要図

試験は以下の手順で行う。

- ✧ CanSatにフライトピンを差し、地上局に親機・子機から通信が来ていないことを確かめることによって、CanSatに電源が入っていないことを確認する。ただし子機2については、9軸センサより加速度の値を取得する必要があるため、電源を入れた状態にしておく。
- ✧ バケツにCanSatを入れ、固定する。
- ✧ 上で説明したようにひもをつけたバケツを振り回し、約10秒間負荷を与える。
- ✧ バケツからCanSatの機体を取り出し、親機・子機1の順でフライトピンを抜く。そして、通信プログラムを再び作動させるために子機2の基板のリセットスイッチを押す。
- ✧ 機体が発分離することや、地上局に親機・子機から通信が来ることを確かめ、正常に動作することを確認する。

- 結果

試験動画リンク

試験開始～親機・子機の分離：https://youtu.be/s_0amtPAWhg

子機 1・2 の分離～試験終了：https://youtu.be/aadQWHnh_d4

図24に、試験前後の 9 軸センサから取得した加速度を示す。これより、10G の負荷が約 9 秒間達成されている。

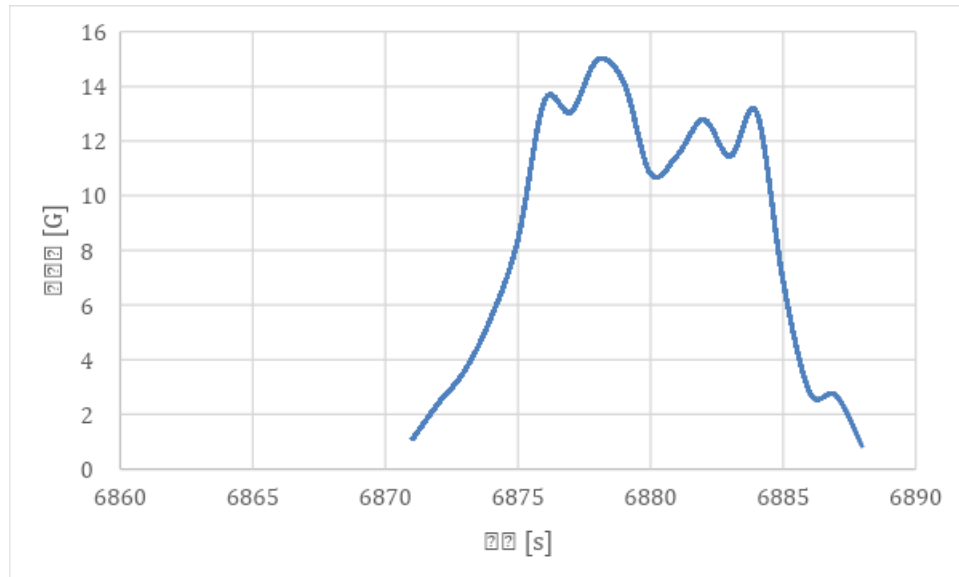


図24 9 軸センサから取得した加速度

- 考察

試験後にCanSatを取り出し、正常に動作することを確認した。したがって、打ち上げ時の準静的荷重により、CanSatの機能・安全機能が喪失しないと考える。また、SDカードのデータを試験後の解析に用いることが出来た。このことから、センサでデータを取得しSDカードへ保存する一連の流れが達成できているといえる。

(V5) 振動試験

- 目的
 - 打ち上げ時のロケット振動により、CanSatの機能・安全機能が喪失しないことを確認する。
 - ✧ レギュレーションにより、15Gの振動荷重を正弦波加振またはランダム加振により30Hzから2000Hzまで加える必要がある。名古屋大学の振動試験機は力としては6000Nまで出力できるため、取り付け用の治具の質量を考慮しても2000Hzまでの試験が可能である。
 - 試験内容
 - 名古屋大学の所有する振動試験機F-0600BM/Aを用いる。振動試験機に治具を介してCanSatを取り付け、加振する。
 - 試験は以下の手順で行う。
 - ✧ 加速度センサを治具(CH2), 子機2の上(CH3), 親機の上(CH4)に取り付け加振準備をする。
 - ✧ 試験機に取り付けてモーダルサーベイを行う。
 - ✧ モーダルサーベイ(30～2000Hz, 0.5G)
 - ✧ キャリアに収納し正弦波加振(30～2000Hz, 15G, 120秒)
 - ✧ モーダルサーベイにより特性に変化がないか確認する。
 - ✧ 試験機からCanSatを外し、機体の分離及び地上局と通信できるか確認する。この通信はGPS情報でなくダミー情報を3回送るようにしたものである。
- フローチャートを以下に示す。

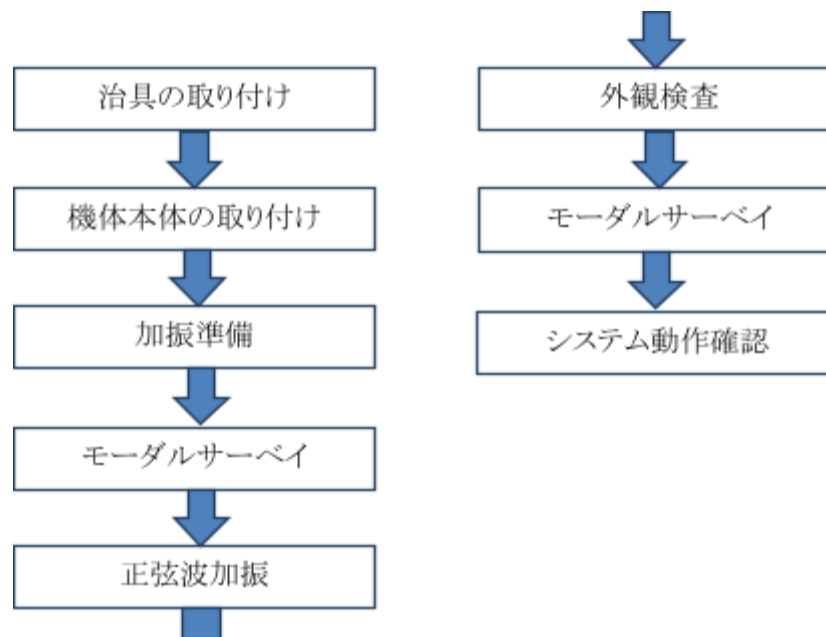


図25 振動試験フローチャート

- 結果
 - 試験動画リンク:
 - 正弦波加振前モーダルサーベイ:https://youtu.be/JyXhFko_5zA
 - 加振開始(0:20～)

正弦波加振:https://youtu.be/luJx1M_OnQo
加振開始(2:55～) 外観検査(5:15～)

正弦波加振後モーダルサーベイ:https://youtu.be/luJx1M_OnQo
加振開始(0:35～) 動作確認(2:50～) 分離機構の確認(4:40～)

図26に試験機の様子を示す。加速度ピックアップは3つ種類があり, Channel2は制御用として治具の上部へ, またChannel3,4は計測用としてそれぞれ機体の底, 機体の中腹部へ取り付けられた。試験前後において微小な振動によるモーダルサーベイを行うことで, 正弦波振動により構造的な損傷がないことを確認する。また, 正弦波振動では実際にキャリアに収納されることを考え, 収納された状態で15Gの振動を加えた。

正弦波加振前に行ったモーダルサーベイにおける加速度の推移を図27に, 15Gの正弦波振動を与えた時の加速度の推移を図28に, 正弦波加振後に行ったモーダルサーベイにおける加速度の推移を図29に示す。横軸は周波数を表している。

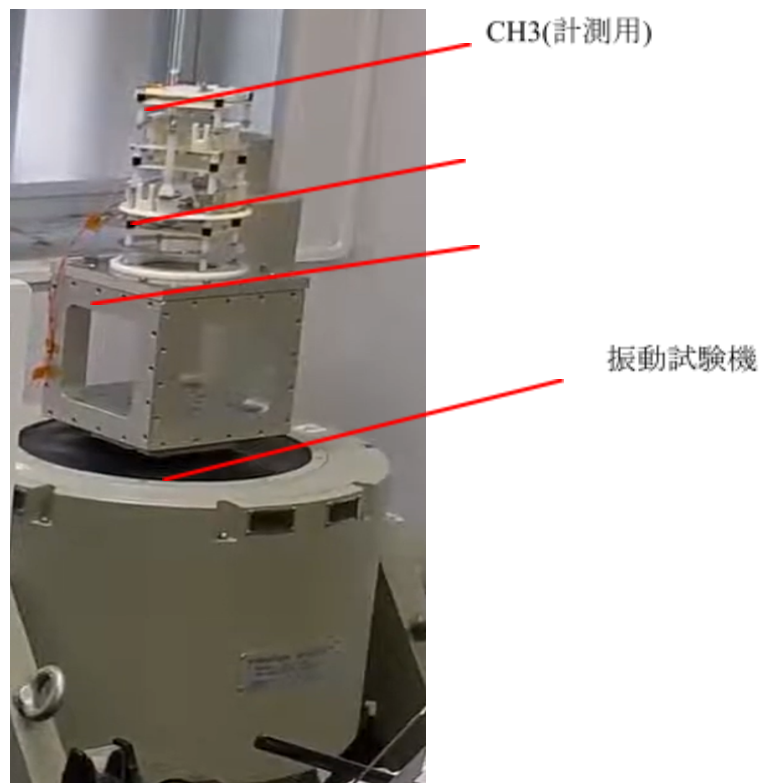


図26 加速度センサ取付位置

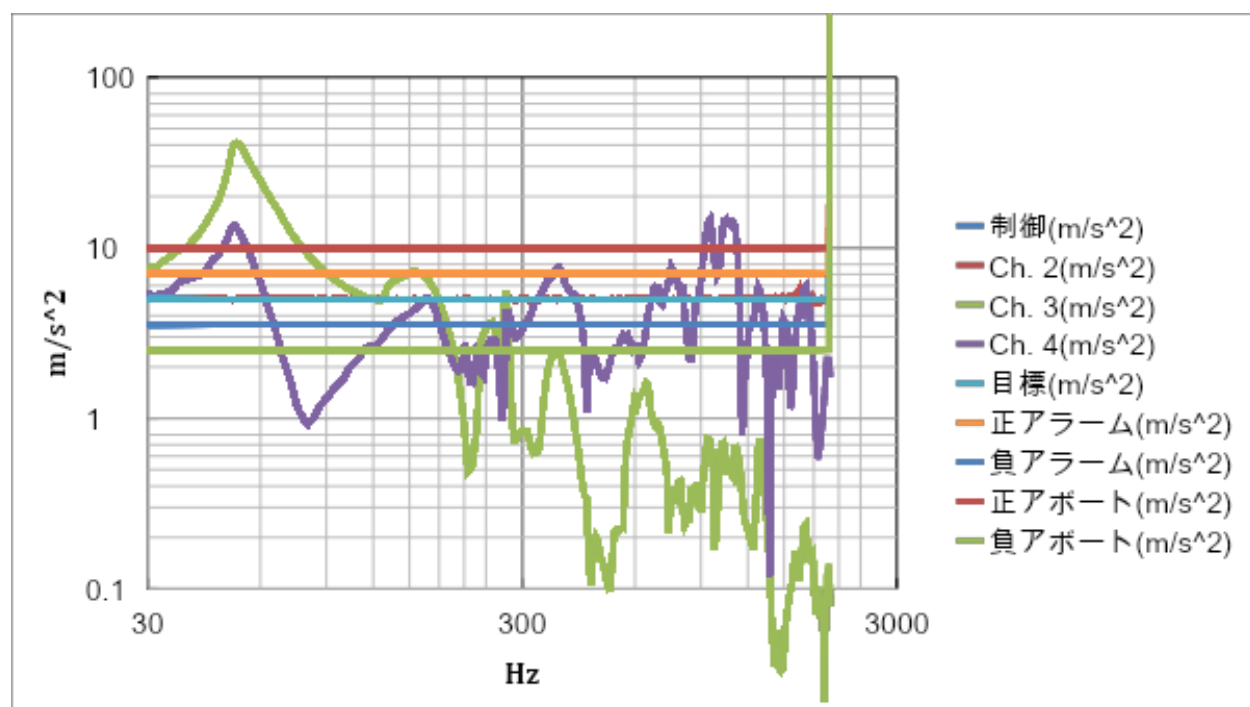


図27 正弦波加振前モデルサーベイ

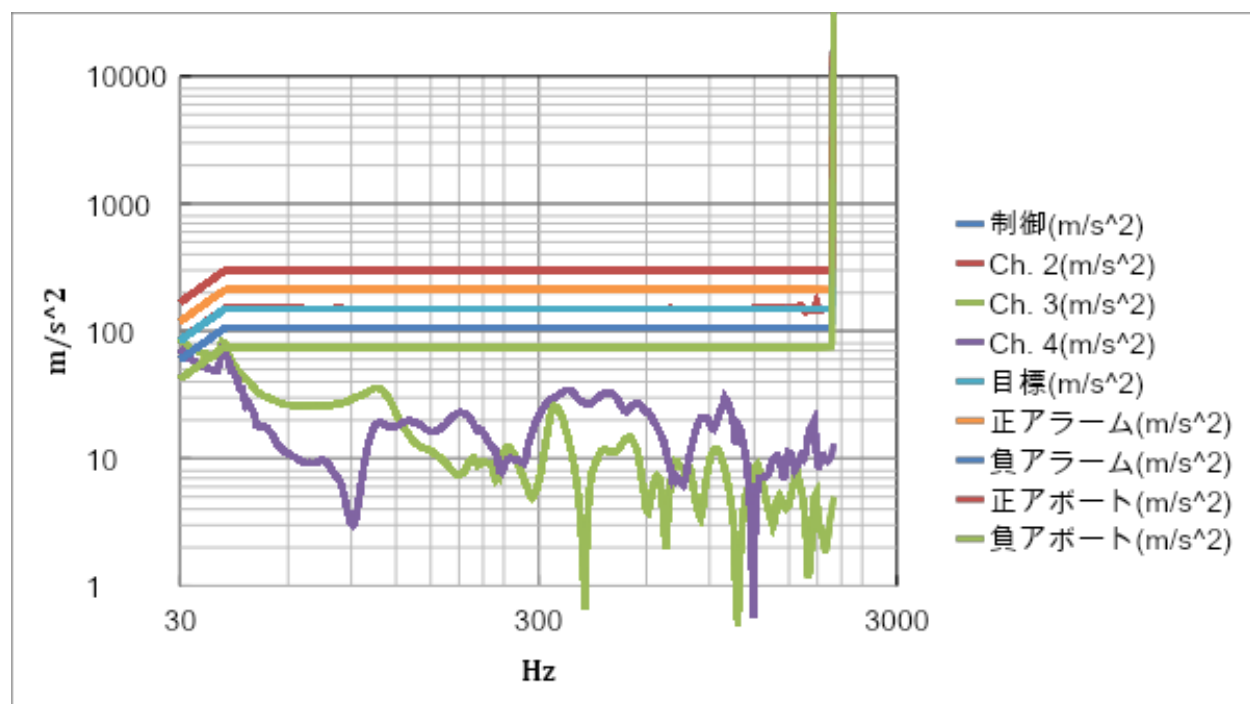


図28 正弦波加振

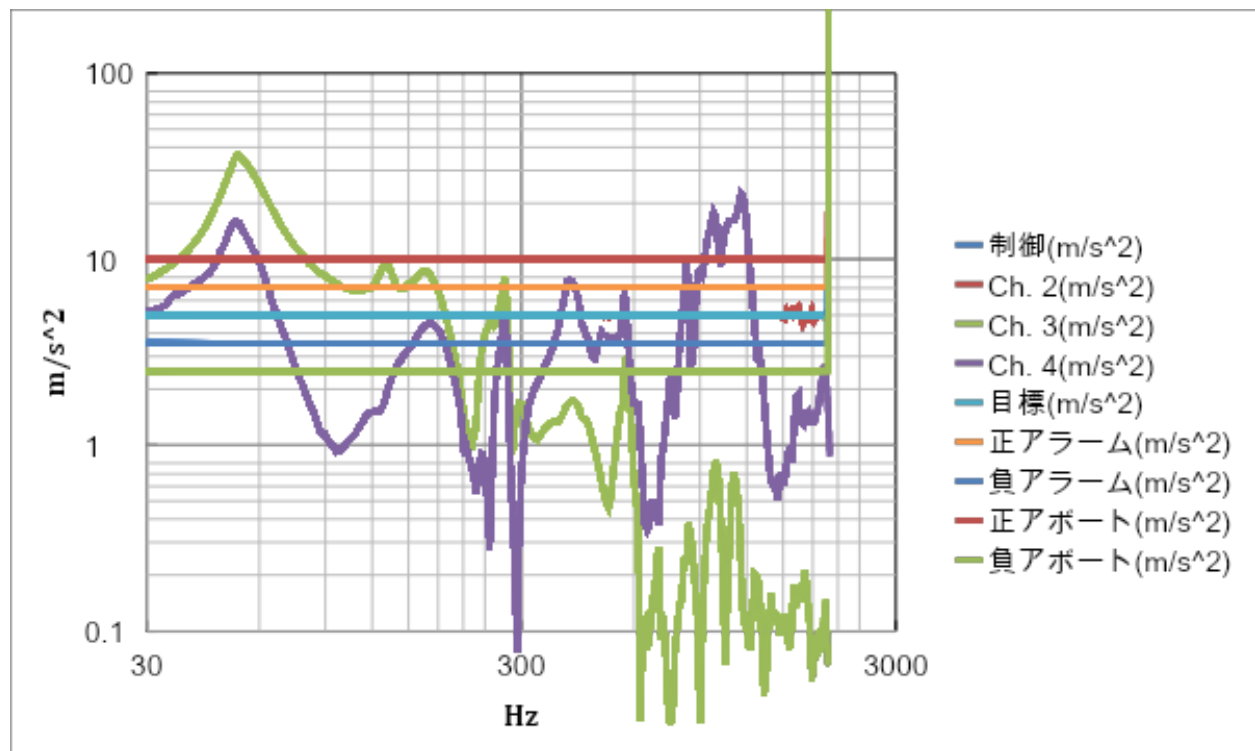


図29 正弦波加振後モーダルサーベイ

加振前のモーダルサーベイから、本機体には50Hz付近において共振点が確認された。また、試験後のモーダルサーベイの結果を確認すると同じ周波数で共振していることが確認できた。これにより、正弦波加振による機体の損傷がないことが確認できる。また、加振後のモーダルサーベイの後に行ったシステムの動作確認において、通信及び分離機構は正常に働いた。このことからシステムも加振後で問題なく働いたことが確認できた。

- 考察

試験後にCanSatのシステム及び構造に問題がないことが確認できた。このことから、打ち上げ時の振動荷重によって安全基準を充足するための機能が損なわれたことが確認できた。

(V6) 分離衝撃試験

- 目的

ロケットからの分離衝撃により, CanSatの機能・安全機能が喪失しないことを確認する.
レギュレーションにより, 40Gの衝撃に耐える必要がある. 以下に示す方法により40Gの衝撃的な負荷をCanSatに与え, 試験の前後でCanSatの構造に変化がないか, また電源を入れた際の挙動に変化がないか確認する.

- 試験内容

CanSatをパラシュートのひもでつるした状態にし, 機体を持ち上げ自由落下させることで40Gの衝撃を与える.

試験は以下の手順で行う.

- ◇ 初めにCanSatが正常な動作を確認する.
- ◇
- ◇ パラシュートのひもを棒に括り付ける.
- ◇ 機体本体を自由落下させる.
- ◇ CanSatのフライトピンを抜くことで通信が行われるかを確認する.
この通信ではGPS情報ではなくダミー情報を3回送るようにしたものである.
- ◇ 最後に分離を確認しシステムが正常に働くかを確認する.

- 結果

試験動画リンク

全機:<https://youtu.be/B2MgHZTbVpc>

落下(0:55～) 通信の確認(1:15～) 分離の確認(2:40～)

子機:<https://youtu.be/ic0a4YpegpE>

落下(0:55～) 通信の確認(1:25～) 分離の確認(2:30～)

子機2のみ:<https://youtu.be/jefdVuhH65U>

落下(0:55～) 通信の確認(1:20～)

衝撃を加えた結果を次ページの図30～32へ示す. この図から, 40Gに十分な加速度を与えたことが確認できる.

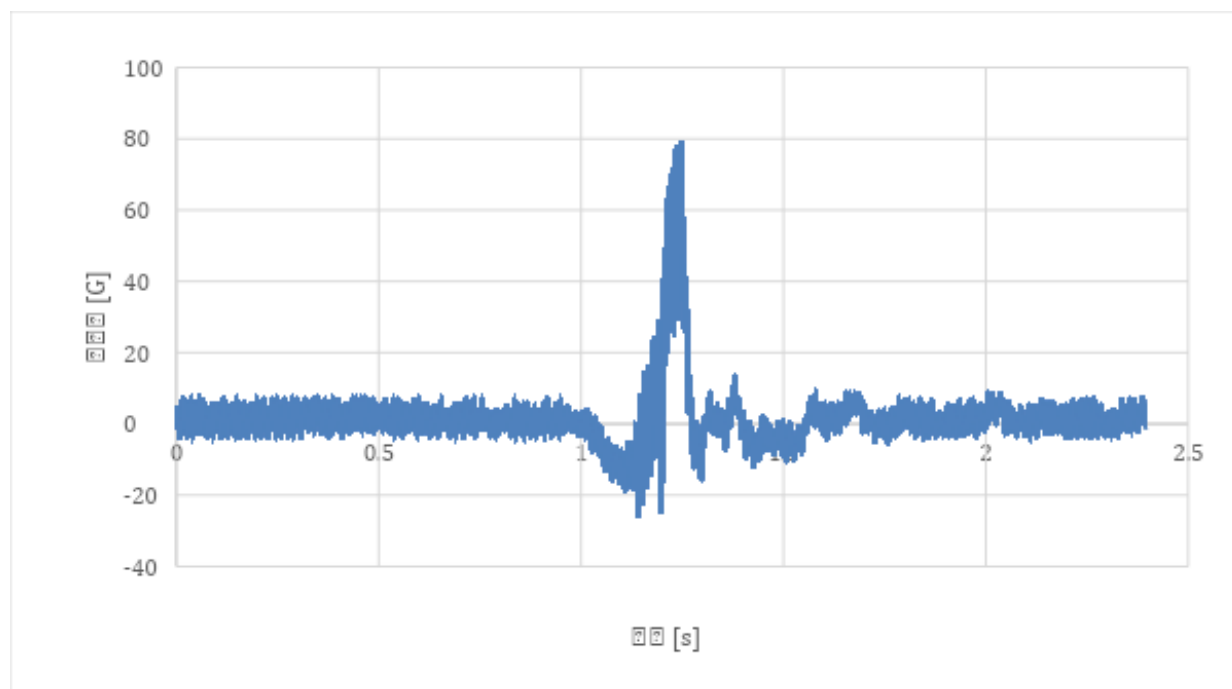


図30 全機での分離衝撃試験時の加速度推移

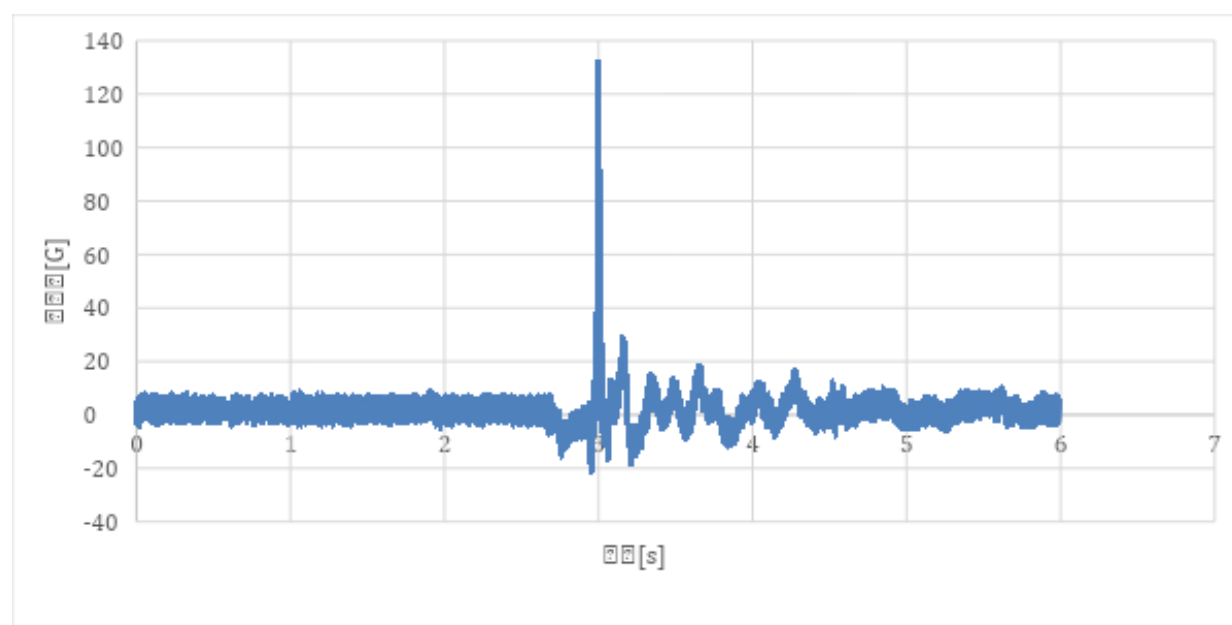


図31 子機2つでの分離衝撃試験時の加速度推移

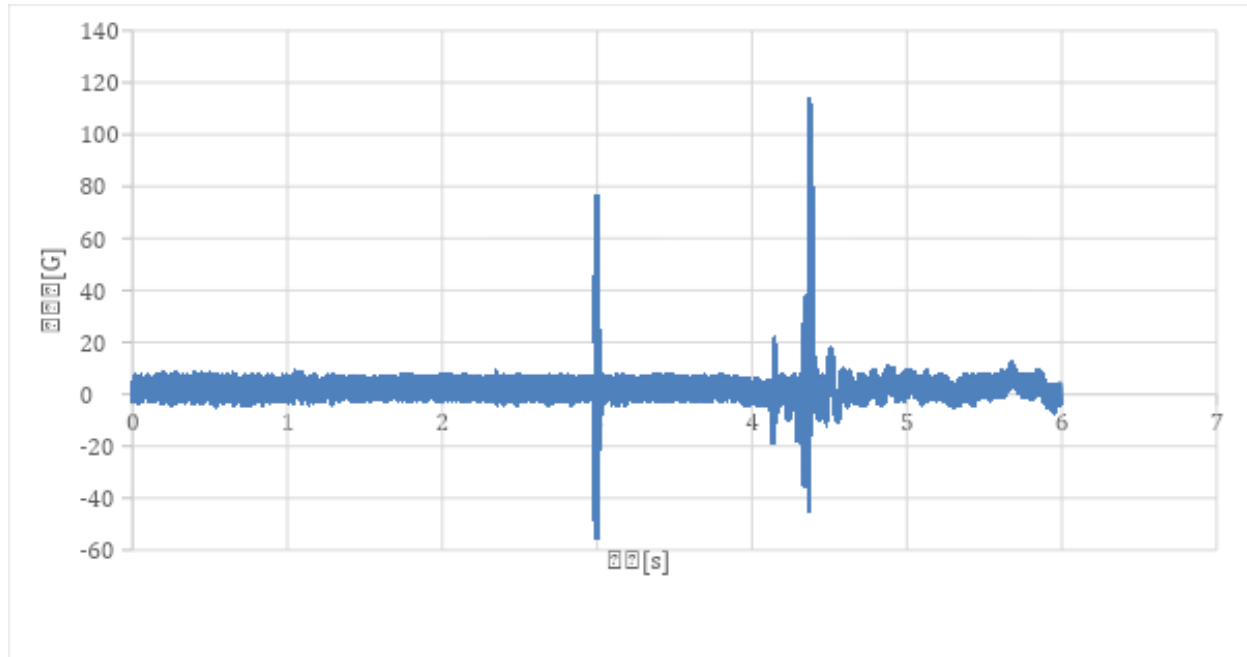


図32 子機2のみでの分離衝撃試験時の加速度推移

全機に衝撃を加えたのちにシステムの動作確認を分離・通信に分けて行ったところ正常に動作することが確認できた。

子機二つで行った場合、衝撃を加えたのちにシステムの動作を分離・通信に分けて行ったところ正常に動作することが確認できた。

子機2のみで行った場合、衝撃を加えたのちにシステムの動作を通信により行ったところ正常に動作することが確認できた。

● 考察

CanSatは40Gの衝撃を加えた後にもシステムの動作が正常に働くことを確認できた。このことから、私たちのCanSatは分離時の衝撃荷重によって安全基準を充足するための機能が損なわれないといえる。

(V7) 通信機電源ON/OFF試験

目的

投下前に通信機の電源をOFFにしておき、投下後にONにできることを確認する。

✧ CanSat全体をコールドスタートさせる予定であり、通信機電源はマイコンなどの電源と共通であるため、フライトピンがパラシュートにより抜けることでマイコンに電源が入り、通信機がONになることを確認する。

- 試験内容

(V3)落下試験と同時に行う。

電源を絶縁するピン(フライトピン)をパラシュートに取り付け、パラシュートの開傘時に電源が入ることを確認する。

電源が入ったことは通信機を用いてデータを送れたかどうかで確認する。

- 結果

試験動画リンク

以下の動画は落下試験と同様のものとなっている。

✧ 全機: <https://youtu.be/GvSGunrAztM>

✧ 子機1: <https://youtu.be/xA0pVjOALyU>

✧ 子機2: <https://youtu.be/jEvV9MQkWQw>

- 考察

パラシュート展開時に親機・子機1,2において通信機に電源が入り、地上局との通信ができることを確認した。このことから、私たちのCanSatはコールドスタートの状態からパラシュートが開くのと同時に自動的に通信機の電源がONにすることが出来るといえる。

(V8) 周波数変更試験

- 目的
CanSatに搭載された無線機がチャンネル調整に応じる必要があり，また実際に調整ができていることを確認する.
- 試験内容
今回使用する通信機：ES920LR (920MHz帯)
https://ease15.com/documents/files/ES920LR%E3%83%87%E3%83%BC%E3%82%BF%E3%82%B7%E3%83%BC%E3%83%88_1.05.pdf
周波数を変更する前後で通信が行えていることを確認する.
変更する様子を「Game Bar」による画面の撮影と「ipad」のカメラ機能による撮影で示す.
今回は920.6MHzと923.2MHzの周波数で通信を行う.
- 結果
試験動画リンク：
◇ 画面撮影 https://youtu.be/WA_iRgfK4KUY
◇ 全体撮影 https://youtu.be/6_KgTxbGIyc
- 考察
データシートに従ってコマンドを送ると通信機の周波数を変更することが出来た. また，その変更された周波数であっても問題なく通信を行えることを確認した. このことから，例えば無線機の周波数を変更するように指示があっても，チャンネル調整に応じ実際に変更することが出来るといえる.

(V9) 着地衝撃試験

- 目的

着地時に発生する衝撃によってシステムの動作が損なわれず、ミッション達成に必要な通信が行われるかどうかを確認する。

- 試験内容

終端速度が、パラシュートによる落下速度と等しくなるような高さから機体を自由落下させ、衝撃を与える。そして、機体が正常に動作していることを機体と地上局の通信の有無で確認する。なお、事前に行った落下試験の結果から、本試験では5.0 m/s程度の速度で着地することを想定する。

試験手順を以下に記載する。

- 1 撮影を開始したのち、フライトピンを引き抜き、機体に電源を入れる。
- 2 想定落下速度を実現するため、1.2 m程度の高さから親機・子機それぞれを自由落下させる。
- 3 機体が落下したのち、親機・子機1,2それぞれからGPSによる測位情報を地上局と通信していることを確認する。
- 4 機体が破損を確認する。
- 5 撮影を終了したのち、機体の回収と片付けを行う。

以上の手順により、落下衝撃で機体が大きく破損し、通信不能にならないことを確認する。

- 結果

落下させたのち、親機・子機1,2それぞれからGPSの測位情報が送信されていることを地上局の受信により確認した。ただし、落下衝撃により親機のバッテリー搭載板の損傷がみられた。

試験動画リンク

<https://youtu.be/BmpotnAsiU0>

- 考察

本試験では、高さ1.2 mから落下させることによって、着地衝撃によってミッション達成に必要なシステムに異常がないことを確認した。この結果から、落下に際して受ける衝撃でGPS、通信機ともに機能を喪失することで、捜索が困難になる可能性は低いと考えられる。また、落下衝撃により親機のバッテリー搭載板の損傷がみられたが、機体落下後の機体性能には関係ない程度の損傷であり、本試験の結果としては差し障りないと考えられる。

(V10) ミッションフィージビリティ試験(含：機体分離試験)

- 目的
CanSatのミッション達成のために必要不可欠な分離機構の動作を確認し、キャリア放出後のミッションの達成可能性を検証する。
- 試験内容
フライトピンが抜けて電源投入された後、分離機構が作動して機体が分離することを確認する。また、電源投入された時刻を基準($t = 0\text{s}$)として分離までにかかる時間を計測し、落下中に分離が達成されるか評価する。
試験は2種類行う。一つ目は親機と子機間のテグス切断機構及び電磁石による分離機構の作動を確認する試験(以下試験1)である。二つ目は子機1と子機2間のテグス切断機構の作動を確認する試験(以下試験2)である。

試験手順を以下に記載する。

試験1

- 6 撮影を開始したのち、フライトピンを引き抜き、機体の電源を入れる。
- 7 マイコンからの信号で熱抵抗に電流が流れ、テグスが切断することを確認する。
- 8 マイコンからの信号で電磁石に電流が流れ、親機と子機が分離することを確認する。
- 9 撮影を終了したのち、機体の回収と片付けを行う。

試験2

- 1 撮影を開始したのち、フライトピンを引き抜き、機体の電源を入れる。
- 2 マイコンからの信号で熱抵抗に電流が流れ、テグスが切断して子機1と子機2が分離することを確認する。
- 3 撮影を終了したのち、機体の回収と片付けを行う。

- 結果

2種類の試験共にフライトピンを抜いた後に機体の分離が確認された。親機と子機の分離には0.85秒、子機1と子機2の分離には1.02秒かった。

試験動画リンク

親機子機間の分離 : <https://youtu.be/9IUp43aMdu8>

子機1子機2間の分離 : <https://youtu.be/lCDIxcen9Yo>

- 考察

テグス切断機構及び電磁石による分離機構が正常に作動し、機体が分離することを確認した。

試験1

親機と子機の分離は電磁石によって制御されており、親機のパラシュート展開直後に分離することを想定している。試験1ではフライトピンが抜ける時刻とパラシュートが完全に展開する時刻の差を考慮して $t = 0.8\text{ s}$ に電磁石が作動するプログラムが組まれている。したがって、0.05秒の誤差は動画解析による測定誤差の範囲内であり、想定通りの分離が達成できていると判断した。

試験2

子機1と子機2の分離はテグスの切断によって制御されており、子機1のパラシュート展開直後に分離することを想定している。試験2では $t = 0.8\text{ s}$ にテグスが切断されるプログラムが組まれている。

したがって、子機1と子機2の分離は想定よりも遅く分離している結果となった。原因として熱抵抗の発熱が悪くテグス切断に時間がかかっていることが判明した。ただし、ACTS本番では50 m からの落下を想定しており、 $t = 1$ 秒程度で分離できれば3機分離は達成できる。そのため熱抵抗を新品に取り替えることでミッション達成は十分可能であると判断した。

(V11) 電気統合試験

- 目的

投下から回収まで、CanSatがミッションを行い、通信を持続する電力が十分であることを確認する。

実際に投下から回収までかかる時間は余裕をもって30分と見積もり、その間CanSatが通信を持続するための電力が十分であることを確認する。

これにより30分間GPS情報が送られてくるためロスト対策となる。この30分という時間は落下させる高度及びフィールドの大きさを考慮した。
- 試験内容

End-to-End試験と同時に行う。

パラシュートを棒に括り付けた状態でCanSatを落下させ、フライトピンが抜けることで電源が入ることを確認する。

電源投入後、分離までのシーケンスを行い、分離から30分ほど放置する。

30分経った後にも機体からのGPSデータが地上局に送られてきていることを確認する。
- 結果

動画リンク：<https://youtu.be/hvITqXMWQQs>

(本動画はEnd to End試験と同じものとなっております。また、動画の最中にかなり揺れる場面がありますが、ご容赦ください。)

電気統合試験 1:40～

実際に電源を投入してから30分経った後にも通信が行えることを確認した。
- 考察

30分経った後からもGPSデータが地上局に送られてくることが確認できた。このことから、CanSatが放出から回収まで十分な電力を有していることが確認できる。また、競技時間に対しても長い時間通信が行えたことからロスト対策となる。

GPSの測位状況による通信が途絶えてしまうことが確認されたが、”reset3T”というコマンドを地上局から送ることで再度通信が行えることも確認できた。これは万が一、通信が正常に行われていないとしても復帰させることが出来ることを意味している。

(V12) 通信確認試験

- 目的
3機間の相互通信が達成できていることを確認する。
実際に取得するGPSデータが地上局に送られてくること確認する。
- 試験内容
ミッション要求の一つである相互通信の達成について確認する。
3機が分離された状態で実際に電源がONになる順番に電源を投入する。
通信が行われていることを地上局で確認する。
- 結果
試験動画リンク : https://youtu.be/whSN_yhH33Q
通信を行う様子が確認できる。
- 考察
実際に3機間通信が行われていることが地上局を用いて確認できた。 よって、私たちのCanSatはミッションとして要求される通信が正常に行うことが出来ているといえる。

(V13) 総合通信試験目的

3機間で相互通信することを確認する。

3つの機体のいずれかが動作停止したときに、残りの2機で相互通信が可能かどうかを確認する。

- 試験内容

地上局からコマンドを送信し、通信アルゴリズムが変更されることを確認する。まず、3機間での通信を行うことを確認する。次に、親機と子機1、親機と子機2、子機1と子機2の順に2機間で相互通信をさせ、地上局にGPSデータが送信されることを確認する。最後に、親機・子機1・子機2の3機相互通信へ復帰させ、地上局にGPSデータが送信されることを確認する。

試験手順を以下に記載する。

- 1 撮影を開始したのち、親機、子機1、子機2の順に電源を入れる。
- 2 機体それぞれがGPSデータを取得し、3機間で通信が行われていることを確認する。
- 3 子機2が動作しなくなったことを想定し、子機2の電源を切る。その後、地上局からコマンドを送信し、親機と子機1が相互通信し、地上局にGPSデータを適切に送信していることを確認する。
- 4 子機1が動作しなくなったことを想定し、子機1の電源を切り、子機2の電源は再度入れる。地上局からコマンドを送信し、親機と子機2が相互通信し、地上局にGPSデータを適切に送信していることを確認する。
- 5 親機が動作しなくなったことを想定し、親機の電源を切り、子機1の電源は再度入れる。地上局からコマンドを送信し、子機1と子機2が相互通信し、地上局にGPSデータを適切に送信していることを確認する。
- 6 親機に再度電源を入れ、2機間通信から3機間通信に復活することを確認する。地上局からコマンドを送信し、親機、子機1、子機2の3機が相互通信し、地上局にGPSデータを適切に送信していることを確認する。
- 7 撮影を終了したのち、機体の回収と片付けを行う。

以上の手順により、通信アルゴリズムを手動で変更できることを確認する。

- 結果

3機間通信が行われていることを確認した。動画(～1:30)

子機2が動かなかった場合、地上局からコマンドを送ることで親機、子機1で相互通信ができた。動画(1:30～2:30)

子機1が動かなかった場合、地上局からコマンドを送ることで親機、子機2で相互通信ができた。動画(2:30～3:30)

親機が動かなかった場合、地上局からコマンドを送ることで子機1、子機2で相互通信ができた。動画(3:30～4:38)

地上局からコマンドを送り、2機間通信から3機間通信に復帰することができた。動画(4:38～)

試験動画リンク

◇ <https://youtu.be/tluJmvItZFE>

- 考察

3機間で親機、子機1、子機2が相互に通信し、親機がそれぞれのGPSデータを地上局に送信することができた。

機体が上手く分離できていなかったり、どれかの機体が通信できなくなった場合でも、地上局からコマンドを送り、通信が行えることが確認できた。

(V14) 地上局動作試験

- 目的

サクセスクライテリアにおいてアドバンスサクセスとなっている, GPSデータから各機体の相対位置をプロットするミッションが達成できることを確認する.
- 試験内容

概要
地上局に送られてきた通信データが保存されているascファイルを用いる.
ascファイルから親機, 子機1, 子機2のGPSデータを取得し, 3機の相対距離をプロットする.

試験手順

 - 1 End to End試験(後述)で得られたascファイルを自分のPC上のフォルダに保存する.
 - 2 作成したプログラムを実行し, 親機, 子機1, 子機2の落下地点をプロットしたマップが表示され, フォルダに保存されているのを確認する.

諸条件
動作環境: Mac(11.5)
Visual Studio Code(1.56.1)
Python(3.9.4)
ライブラリ(pandas, matplotlib, tqdm)
- 結果

親機, 子機1, 子機2の落下地点を, 親機からの相対位置としてプロットしたマップを図に示す. 輪郭のみの点は各相対位置のデータであり, 色付きの点は平均値のデータである. なお, 相対位置のデータは実際の相対距離を考慮して外れ値15m以上のものを除外している.

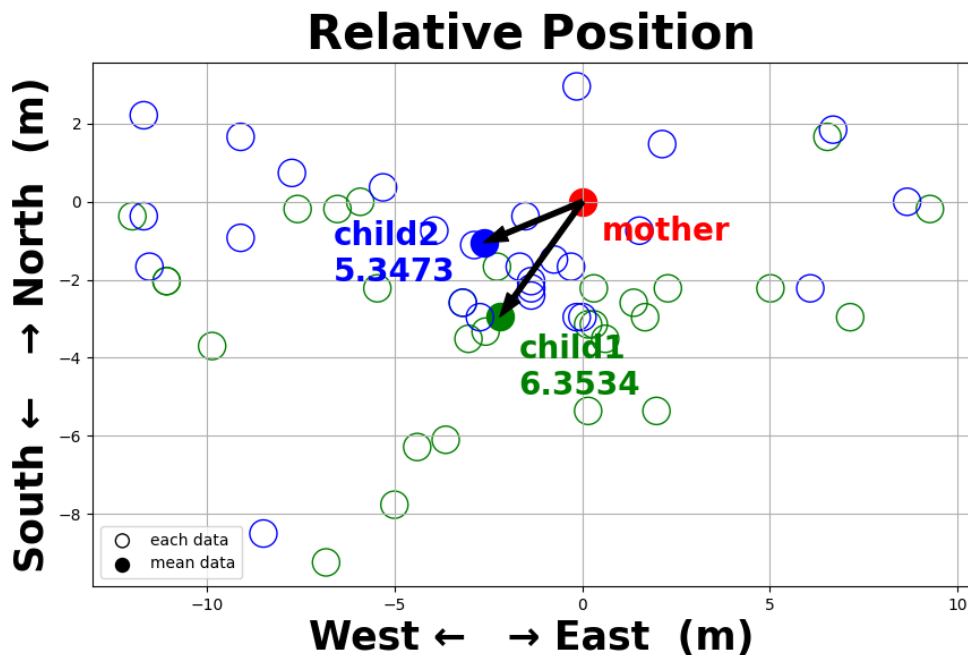


図33 親機からの子機1, 子機2の相対距離

試験動画URL: <https://youtu.be/hqUumssY-jQ>

図よりascファイルから3機の相対位置をプロットできることを確認した。親機と子機1の相対距離は6.3534m, 親機と子機2の相対距離は5.3473mであった。また、プロットしたマップがフォルダに保存されていることを確認した。

- 考察

結果の相対距離と実際の相対距離の誤差を計算すると、およそ5m程度であった。誤差が生じた原因として、各機体でGPSの向きがずれていたこと、GPSにオフセットが設定されていることなどが考えられる。

今回は誤差を修正することができなかったが、GPSデータから各機体の位置をプロットできることは確認できたので、アドバンスサクセスは達成可能であると判断した。

(V15) End-to-End試験

- 目的

キャリア放出～落下～回収まで、CanSatがミッションを機体が自律して行えることを確認する。

ただし、分離をするまでにかかる時間を稼げる落下高さを用意できないため落下中にパラシュートが開いたと仮定し、自律的にシステムが正常に動作することをメインのターゲットとして確認する。

- 試験内容

電気統合試験と同時に行う。

親機のパラシュートを棒に括り付け、機体全体を落下させる。

親機のパラシュート展開により、フライトピンが抜け親機に電源が投入されることを確認する。これにより親機と子機の分離を確認する。

地上局のログを確認し、親機からの着地検知のメッセージが表示されていることを確認する。

同様に子機1のパラシュートを棒に括り付け、子機1及び子機2を落下させる。子機1のパラシュート展開により、フライトピンが抜け子機1に電源が投入されることを確認する。これにより子機同士の分離を確認する。

地上局のログを確認し、子機1および子機2からの着地検知のメッセージが表示されていることを確認する。

子機2のフライトピンを抜き、GPSデータの相互通信を地上局にて受け取り確認をする。

試験開始から30分後に電源を切り試験を終了する。

親機からSDカードを抜き取り、加速度データが保存されていることを確認する。

- 結果

動画リンク：<https://youtu.be/hvITqXMWQQs>

(本動画は電気統合試験と同じものとなっております。動画の最中で、大きく揺れる場面がありますが、ご容赦ください。)

地上局受信ログ

撮影の都合上、着地検知のメッセージは動画内では確認できなかったが、地上局受信ログの一部を以下に示す。

```
--> receive data info[panid = 0001, srcid = 0011, dstid = FFFF, length = 0A]
Receive Data(X69,12,994)
```

```
--> receive data info[panid = 0001, srcid = 0011, dstid = FFFF, length = 17]
Receive Data(X-landing complete!!!!) ← 着地検知 (親機)
```

(a) 親機の着地検知

```
--> receive data info[panid = 0001, srcid = 0001, dstid = FFFF, length = 17]
Receive Data(X-landing complete!!!!) ← 着地検知 (子機 1)
```

```
--> receive data info[panid = 0001, srcid = 0111, dstid = FFFF, length = 17]
Receive Data(X-landing complete!!!!) ← 着地検知 (子機 2)
```

```
--> receive data info[panid = 0001, srcid = 0111, dstid = FFFF, length = 11]
Receive Data(35092805136578918)
--> receive data info[panid = 0001, srcid = 0001, dstid = FFFF, length = 11]
Receive Data(35092731136568979)
```

(b) 子機 1, 2 の着地検知

図34 地上局受信ログ

加速度データ

試験後の親機のSDカードから次のような加速度データが取得された。

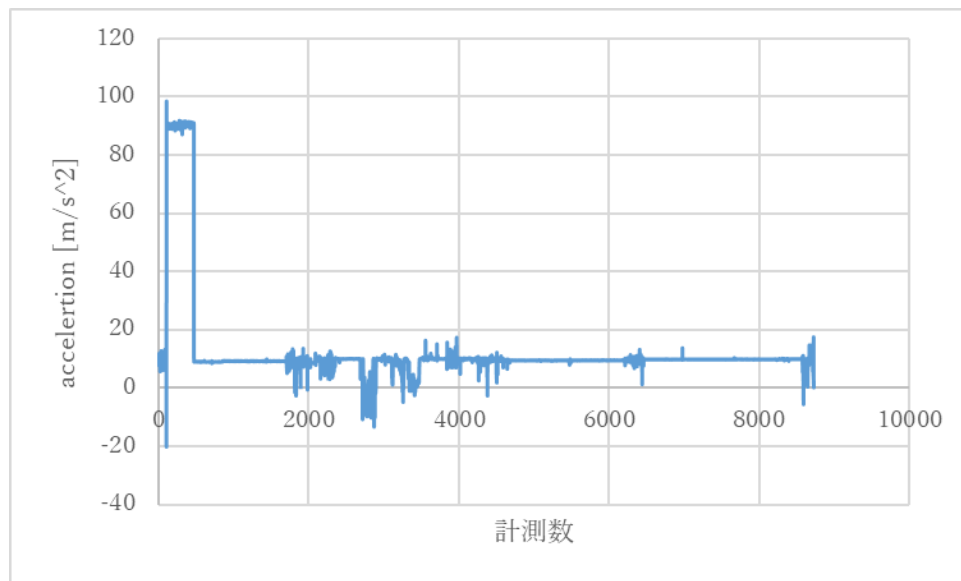


図35 得られた加速度データ

- 考察

CanSatのフライトピンが抜け分離し、通信を行う様子が確認できた。また、この通信は30分継続され十分なミッションの達成及びロスト対策が出来ているといえる。よって、放出から分離・通信、そして回収・解析までの一連の流れが達成できることが確認できる。

落下試験においてパラシュートの傘開による衝撃での機体損傷は確認できていなかったが、今回のEnd-to-End試験によって紐が伸びきった際にアルミ板の損傷など構造の破壊は確認されなかった。また、衝撃によって基板が破壊されソフトが動かなくなることも見受けられなかった。このことを踏まえ、パラシュートが開いたとしても構造は破壊されずミッションに移行できるといえる。

(V16) キャリア収納・放出試験

- 目的

容積がレギュレーションを満たしていることを確認する。

収納までの時間が5分未満であることを確認する。

また、自重でキャリアから放出できることを確認する。

- 試験内容

直径146mm以内、高さ240mm以内というレギュレーションを満たすようなキャリアを用意する。

上記のキャリアにCanSatが収納し、容積が要求を満たすかを確認する。

収納するまでの時間を計測し要求される5分以内の収納を確認する。

キャリアに収納された状態で自重で落下するかを確認する。

- キャリアの確認

キャリアの高さがレギュレーションの240mm以内であることを確認した。また、キャリアの直径が146mm以内であることを確認する。計測の様子を以下に示す。



図36 キャリアの高さ

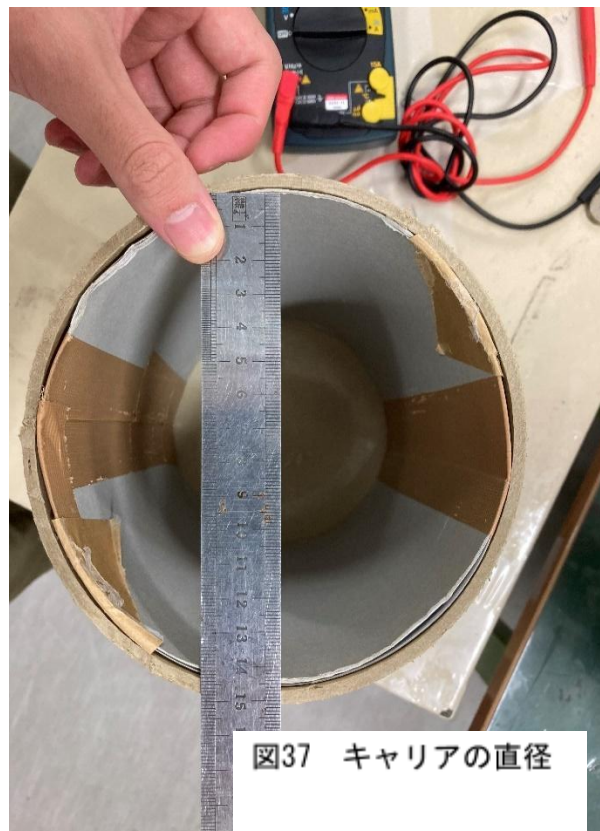


図37 キャリアの直径

CanSatの
レギュレーションの

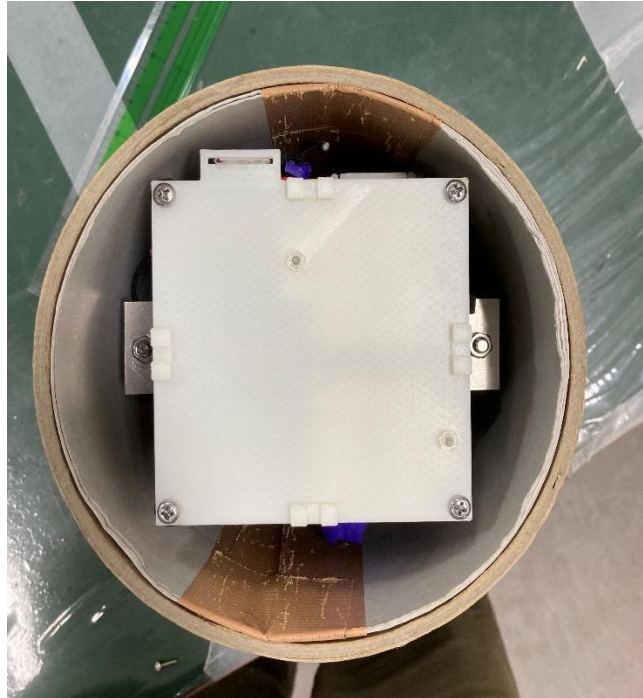
高さがレ
240mm以内

- 結果

であることを確認した。計測の様子を次ページに示す。



図38 高さ計測結果



CanSatの直径がレギュレーションの146mm以内であることを
認した。
測の様子
上記に示

図39 直径計測結果

確
計
を
す

試験動画リンク：

- ◇ 収納する様子：<https://youtu.be/7xHTwQyno7M>
- ◇ 放出する様子：<https://youtu.be/b8YBrrb86io>

動画から5分以内に収納が出来ていること、また自重により落下が可能であることが確認できた。

● 考察

キャリアに余裕をもって収納でき、また自重により安全に放出できる形体であると考えられる。

第7章 工程管理, ガントチャート(スプレッドシートを推奨)

各担当 (ハード・ソフト・全体などの進行状況・予定を記入)

ガントチャートを次のリンクで掲載する.

https://1drv.ms/x/s!Aus-I5JlDJZ0hKNY5sLsJiBnna1_IA?e=P8iv08

※当初, 9/17の大会当日で終了予定であったため, 9/17日までの工程管理のみ掲載しております. また, それ以降は開発を完全にストップし1か月おきに動作確認のみ行っております.

第8章 大会結果報告

1. 目的

月や他の惑星の探査に向けた開発が盛んにおこなわれている. このことを背景として, 機体を空中で複数機に分離・落下させて各々の情報伝達をさせる. 独自のアルゴリズムにより, 3機に分離・着地をした機体のGPS情報を親機に集約し地上局に送信する. そのデータを用いることで, 相対位置の検出及び図へのプロットを行う.

2. 結果

ACTS大会の結果を以下に示す.

今回のミッションは大きく2つあり, それぞれについて1日目と2日目の結果を報告する. また, 追加ミッションの結果についても報告する. その後, サクセスクライテリアの達成具合を評価する.

まず, メインミッションである機体分離と相互通信の結果を報告する.

機体分離

1日目

機体投下後, 親機のパラシュートが展開することを確認した. 親機と子機全体の分離は確認できなかった. パラシュート展開の様子を図1に示す.



図 40 親機パラシュート展開

動画リンク: https://www.youtube.com/watch?v=CqH_SoYWYeA

2日目

機体投下後, 親機のパラシュートが展開することを確認した. その後, 親機と子機全体の2機間で分離を確認した. 2機分離の様子を図2に示す.



図 41 親機子機全体間分離

動画リンク: <https://studio.youtube.com/video/g918s9VgzTk/edit>

子機1と子機2は空中での分離は確認できず、地表着地後に分離していることを確認した。分離後の様子を図3に示す。



図 42 子機1子機2間分離

動画リンク: <https://www.youtube.com/watch?v=3yW8ieq2sKg>

相互通信

1日目

機体が分離しなかったため、相互通信できなかった。また、アルゴリズム上相互通信ができないと各機体のGPSデータを地上局に送信しないため、GPSデータも取得できなかった。

2日目

機体の着地後に相互通信を試みた。今回は子機1と子機2が空中で分離せず子機2のパラシュートが展開しなかったため、フライトピンが抜けず子機2に電源が入らなかった。そのため、親機と子機1間で相互通信を行うアルゴリズムに変更した。

その結果、親機のGPSデータを地上局で一度だけ取得できたので、地図上にプロットしたものを図4,5に示す。なお、地図は国土交通省国土地理院の提供する電子国土基本図(オルソ画像 2007年～)を用いた。



図43 GPSデータからプロットした親機落下地点



図44 GPSデータからプロットした親機落下地点(拡大図)

この結果から, 親機と子機1間で相互通信を行うアルゴリズムにおいて, 一度だけ相互通信を達成し, 親機のGPSデータを地上局に送信できたことを確認した.

また, 上記のミッションとは別に, 追加ミッションとして機体の着地検知を行った. 9軸センサの一つである加速度センサで機体の加速度を計測し, 加速度の変化が一定値以下になったとき「X-landing complete!!!!」を各機体から地上局へ送信するプログラムを組んだ.

その結果を以下に示す. 図6,7は地上局のつなた一むのログをVisual Studio Codeで表示させた一部分である. srcid = 1111が子機1, srcid = 0011が親機を意味している. 以上の結果より, 機体が加速度の変化を計測し, 着地検知できたことを確認した. (SDのデータor動画と着地検知時刻が一致するか考察する必要あり?)

```
26 [2021/11/21 14:31:08R] --> receive data info[panid = 0001, srcid = 1111,
27 Receive Data(X-landing complete!!!!)]
```

図45 子機1の着地検知

```

43  [2021/11/21 14:31:20R] --> receive data info[panid = 0001, srcid = 0011,
44  Receive Data(X-landing_complete!!!!)

```

図 46 親機の着地検知

続いてサクセスクライテリアの達成具合を評価する。第2章に記載されているサクセスクライテリアを再度以下に示す。

ミニマムサクセス	パラシュート展開後、少なくとも2機が分離し、2機間でのGPS情報の相互通信を達成すること
フルサクセス	パラシュート展開後、3機が完全に分離し、GPS情報の相互通信を行い相対位置の検出を行うこと

2日目の結果をミニマムサクセスと照らし合わせると、パラシュートが展開し、2機が分離することは達成できた。しかし、GPS情報の相互通信については一度だけ部分的に達成したものの、継続性という観点では達成できていなかった。また、地上では3機に分離していたが、これはサクセスクライテリアで想定していた空中での分離ではないので3機分離は達成できていない。したがって、評価としては「ミニマムサクセスを部分的に達成」が妥当だと判断した。

3. 考察

構造

以下に、本番で見られた事象とその原因、及び解決策について列挙する。

◆ 1日目：ミニマムサクセスである2機分離ができなかった

原因

- ・ 電磁石の通電時間が短く、電磁石と鉄板がはずれなかった
- ・ 試験において爪が開きにくく分離されないことがよくあり、それが本番でも起きた恐れがある

解決策

- ・ 電磁石通電時間を長くする

◆ 1日目：パラシュートが構造に絡まっており、上記の問題が解決されても分離できなかったと考えられる

原因

- ・ 急遽投下時間が早まったことで、投下直前に行おうとしていた組立で焦ってしまい、丁寧にパラシュートの収納ができていなかった

解決策

- ・ 2日目は朝から丁寧に組立をやるべき
- ・ チェック項目を予め作成し、本番直前はそれに従って機械的に2人以上のクロスチェックを行う

◆ 2日目：2機分離は達成したが子機同士の分離ができず、フルサクセスである3機分離は達成しなかった

原因

- ・ 子機が回転しながら落下しており、遠心力のせいでパラシュート板が爪に引っかかった可能性がある
 - ⇒ 落下試験で、回転しながらの落下を問題視しなかった
 - ⇒ 問題視せずとも、それを考慮した分離試験をしなかった

解決策

- ・ 実際に落下させながらの機体分離試験が必要

ソフト

以下に、本番で見られた事象とその原因、及び解決策について列挙する。

1日目

親機のGPSデータも取得できなかった。

原因

- ◇ アルゴリズム上相互通信ができないと各機体のGPSデータを地上局に送信しない
- ◇ 分離状況に応じた通信アルゴリズムを作成するべきであった

解決策

- ◇ 分離検知を行えるプログラムと総合通信のプログラムを連動させることで、分離状況をCansatが認識できるようにする。
- ◇ 認識した分離状況に応じて、通信アルゴリズムを自律的に選択するようにすることで、分離しなくてもGPS情報が得られるようにする

2日目

親機のGPSデータを地上局で一度だけ取得し、継続的な相互通信ができなかった原因

✧ 相互通信の継続試験は行っていたが、親機と子機を用いた相互通信で遠距離通信試験が未実施だった.

解決策

✧ 最悪の事態を想定した、試験の実施

✧ 衛星のばらつき具合を想定した、EndtoEnd試験の実施

第9章 まとめ

1. エフ・努力した点(ハード, ソフト, マネジメント面すべて)

ハード

- 構造の軽量化

機体が3つ分になっているために重量の軽量化が重要となった. そのため, 機体は3Dプリンタとしてネジやナット部分も樹脂製のものを使用した. 機体を軽量化することで, 耐久性との兼ね合いが非常に難点であった.



図2(再掲載) 機体の外観

- 分離機構
電磁石だけでなく、爪の機構をつけることで振動試験に耐えられるほどの結合力が実現を可能とした。

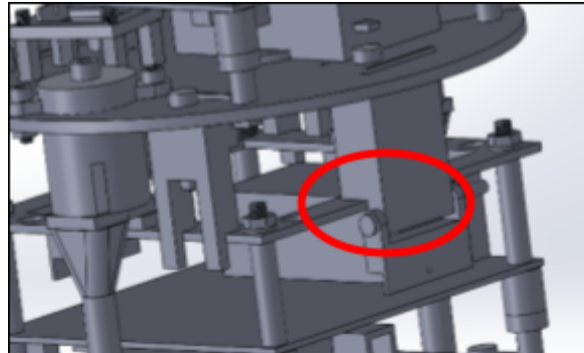


図47 爪の機構

•

ソフト

- 3機と地上局が同一周波数で相互通信をするアルゴリズムを考え、GPS情報の共有をできるようにした。
- 地上局からコマンドを送信できるようにし、アノマリー発生時にコマンド送信を行い、2機間通信への移行を可能にした。
- Cansatのプログラムが回らない場合を想定し、ウォッチドックタイマを搭載した

マネジメント

- ガントチャートを早い段階で作成し、1週間ごとの各担当の進捗を管理した
- 週に一度の定例MTG以外にもローカルで進捗を確認する機会を設け、MTGの時になってきていませんでした、となることを極力減らした。

2. 課題点

分離機構

- 爪の構造に頼らない磁石のみの分離機構の構築
今回の機体では「電磁石による磁気＋爪機構による構造的結合」の二つの結合からの分離を目指した。しかしながら、分離機構を複雑化させたことで分離を達成する難易度の上昇が伺えた。今後は、磁気による分離のみの設計が必要である。
- 子機のパラシュートの安定性
3機の機体を規定に収めるため、パラシュートの大きさの縮小が必要となった。しかしながら、その分安定性に欠け不安定な着地となった。今後、ある程度の大きさのパラシュートスペースを確保した構造の設計が必要となる。

相互通信

- GPSデータが取得できないと通信が始まらないなどの直列のシステムは不具合に対して脆弱だった。
 - ✧ アルゴリズムに冗長を持たせるなど並列のシステムを組む必要がある。
 - ✧ いかなる状況でも通信が達成されなかったとき、自分で判断して電源からリセットして初期状態に戻すようなシステムを組む必要がある。
 - ✧ アルゴリズムを複雑にせず、なるべくシンプルにすることが大切である。
- 地上局と機体の通信距離が遠く離れており不安定だった。
 - ✧ 通信距離試験を一回実施しただけで満足せずに、常に打上げ時を再現した形でE2E試験と同時並行で実施する必要がある。
 - ✧ 通信距離試験だけでなく、機体の姿勢や高低差なども考慮した試験を行う必要がある。
 - ✧ 各々の機体が他の機体からの通信を受信されなかったときなどのアノマリーを検知し、それに対する動作・アルゴリズムを考える必要がある。

開発環境

- 本番に確認すべきことが曖昧でなにが達成されればよいか不明だった。
 - ✧ 開発序盤からチェックリストを作成し、精度を高める必要がある。
 - ✧ チェックリストに従って試験した際に生じた不具合を管理する必要がある。
 - ✧ 誰でも打上げまで準備できるような手順書を作成する必要がある。

3. 今後の展望

3機分離を達成することはかなわなかったが、スペース的な制約もある中で、構造の改善余地は少ないかもしれない。大きな反省点としては、親機1子機1の落下分離試験および子機同士の落下分離試験を実施すべきだった。3機だから分離しないのか、そもそも子機2と子機1の分離が現実的でなかったのか、実際に高所から落としての試験を行い問題の切り分けを行うべきだった。開発経験が浅いうちは問題の切り分けなどの重要性がなかなか掴めないと思うが、意識すべき点だった。また、アノマリー（緊急事態）に対する予測や改善策を事前にもっとねるべきだった。