

# 技術詳細報告書

所属(東京大学 中須賀・船瀬研究室)

Team Grenouille

## 内容

1. ミッションについて.....	2
2. 要求分析 .....	3
3. 試験/解析の結果・内容.....	5
3. 会計/電力/質量/サイズの配分 .....	5
5. 設計図.....	12
6. 使用部品 .....	13
7. 製作時に使用した機材・サービス .....	14
8. その他.....	14

2016年10月12日

龍野瑛

## 1. ミッションについて

### —ミッションステートメント—

GPS、加速度センサや地磁気センサなどを使い、二輪型のローバーに目的地まで自動走行を行わせる。その際、障害物に対して回避行動などを行いながら進み、またカメラを用いて通ってきた経路の画像を取得する。

### —サクセスクライテリアー

	内容	確認方法
ミニマムサクセス	<ul style="list-style-type: none"><li>・パラシュートを展開してローバーを安全に着陸させる</li><li>・着地を判定してケースを展開する</li><li>・着地地点から目的地の方向に1 km以上走行する</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ログ</li><li>・視認</li></ul>
ミドルサクセス	<ul style="list-style-type: none"><li>・目的地に着いたことを判断する</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ログ</li><li>・視認</li></ul>
フルサクセス	<ul style="list-style-type: none"><li>・カメラを用いて通ってきた経路を撮影し、ログに残す</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ログ</li></ul>
アドバンスドサクセス	<ul style="list-style-type: none"><li>・目的地から半径5m以内に到達する</li><li>・ゴールの写真を撮る</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>・ログ</li><li>・視認</li></ul>

### —システム図—

別途資料を添付する。

## 2.要求分析

要求番号	自己審査項目	自己審査結果	コメント
	ARLISS レギュレーションの充足		
R1	<a href="#">質量と容積</a> がレギュレーションを満たすことが確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
R2	<a href="#">ロスト対策</a> 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,ARLISS 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.)	<input checked="" type="checkbox"/>	
R3	地表近くで危険な速度で落下させないための <a href="#">減速機構</a> を有し,その性能が試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
R4	打ち上げ時の <a href="#">準静的荷重</a> によって機能が損なわれないことが試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
R5	打ち上げ時の <a href="#">振動荷重</a> によって機能が損なわれないことが試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
R6	打ち上げ時の <a href="#">衝撃荷重</a> によって機能が損なわれないことが試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
R7	(着地後にミッションを行う場合) <a href="#">着地の衝撃</a> によって機能が損なわれないことを試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
R8	打ち上げ時の <a href="#">無線機の電源 OFF</a> 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)	<input type="checkbox"/> or <input checked="" type="checkbox"/>	確認の必要なし
R9	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	<input checked="" type="checkbox"/>	
	カムバックコンペティションレギュレーションの充足		
R10	ミッション時に人間が介在しない <a href="#">自律制御</a> を実施することが確認できている (根拠の項に End-to-end 試験の結果を示すこと)	<input checked="" type="checkbox"/>	
R11	ミッション後,規定された <a href="#">制御履歴レポートを運営者へ提出</a> する準備ができている (以下の根拠の項	<input checked="" type="checkbox"/>	

	に実際に獲得したデータによる制御履歴レポートを添付すること)		
	<u>ミッション成功のための確認事項</u>		
R12	ミッション完遂に十分な <u>電力量</u> が確保できていることを試験で確認できている	<input checked="" type="checkbox"/>	
R13	CanSat の <u>ミッションおよびサクセスクライテリア</u> が明確に規定されている	<input checked="" type="checkbox"/>	
R14	本レビュー書提出までに、 <u>設計審査会</u> を最低 1 回（できるだけ複数回）開催し、責任教員などの有識者から助言を得ている	<input checked="" type="checkbox"/>	
R15	<u>End-to-end 試験</u> により、開発した Cansat がサクセスクライテリア（フルサクセス）を充足できることを確認している	<input checked="" type="checkbox"/>	
R16	残された日程で <u>解決すべき課題</u> が明確になっており、解決するための <u>スケジュール</u> が立案・管理されている	<input checked="" type="checkbox"/>	

### 3.試験/解析の結果・内容

#### 3.1 検証項目一覧

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）	実施日
V1	質量計測	R1	2016/7/30
V2	キャリア収納試験	R1	2016/8/1
V3	長距離通信試験	R2	2016/9/10
V4	落下試験	R3	2016/8/2
V5	静荷重試験	R4	2016/8/1
V6	振動試験	R5	2016/8/1
V7	打ち上げ・放出衝撃試験	R6	2016/8/1
V8	着地衝撃試験	R7	2016/8/20
V9	通信機電源 ON/OFF 試験	R8	実施しない
V10	通信周波数変更試験	R9	2016/9/3
V11	制御走行試験	R10	2016/8/20
V12	制御履歴レポート作成試験	R11	2016/8/20
V13	電力試験	R12	2016/8/6
V14	End-to-end 試験	R15	2016/8/20

#### 3.2 検証詳細

##### (V1) 質量計測

<目的>全体重量が **Open Class** の重量制限である **1050g** に収まるかを確認する。

<試験/解析の内容>最小メモリ **1g** の電子はかりを用いて質量の計測を行った。最初に、ローバー単体、次にパラシュートおよびケーシング、最後に全システムの質量を計測した。

<結果>ローバー単体での質量は **746g**、パラシュートおよびケーシングの質量は **264g**、全システムの質量は **1010g** であった。

<結論>今回の質量計測は、搭載予定のすべてのサブシステムを乗せて実施されており、十分な有効性を有していると考えられる。



##### (V2) 収納実験

<目的>ローバーがキャリアに収納できるか、そしてキャリアからスムーズに放出

されるかを確かめるため。

<試験／解析の内容>2016年8月18日、能代宇宙イベントにおいて、レギュレーション計測の際に実際の大きさのキャリアに収納できるか確認した。

<結果>初めは、ケーシングのねじの出っ張りが引っかかってしまったが、修正後は収納・放出ともにスムーズに出し入れすることができた。

<結論>キャリアへの収納、キャリアからの放出ともに問題なく動作したため、ARLISS本番でもかなりの高確率でスムーズに収納・放出ができるのではないかと考えられる。

---

### (V3) 長距離通信試験

<目的>ローバーがロストしないよう、無線が十分な通信距離を有しているか確認するため。

<試験／解析の内容>使用した無線機は米国版 XBee s2b、周波数は **2.4GHz** であり、双方ともに地表近傍に立った状態で無線機を手にもっている。

<結果>1.6km まではすべてのデータを送受信できたが、それ以上では全く受信できなくなった。

<結論>ARLISS では、一方が空中に存在するので、双方ともに地表に存在した今回の実験よりは長距離の通信が可能になると考えられる。この実験において、地表同士の実験で 1.6km 届いたことから、ARLISS 本番では 2 倍の 3.2km 以上の通信が可能なのではないかと考えられる。なお、この推測は、過去東京大学から ARLISS に参加した経験者の助言に基づくものである。また、無線機を通じて GPS 座標が定期的に送信されているため、受信することでローバーの位置は特定することができる。

過去の参加者によれば、放出後、視認と通信可能なタイミングがほぼ同時であるので、追跡後も複数名は常に目を離さないでおくようにし、地上に落下した後は落下時の軌道の記録と風向きからある程度落下区域を予測する。これによりローバーのロスト対策は十分であると考えられる。

---

### (V4) 落下試験

<目的>ローバーが着地の衝撃で壊れないよう、パラシュートで十分減速できることを示すため。

<試験／解析の内容>2016年8月20日に能代宇宙イベントにて、気球実験を行った。気球を、高度 20m まで上昇させ、約 1kg のペイロードを載せたパラシュートを投下した。

<結果>パラシュートが問題なく展開した。地表近傍での落下速度は 2 ~ 3 m/s だと概算できる。

<結論>今回の実験でも開傘がなされたこと、また大学構内での実験からも、パラシュートはかなりの確率で展開するものと思われる。なお、高度不足から終端速度に到達していないと思われるので、より高度が高ければ、更なる減速も期待できる。



### (V5) 静荷重試験

<目的> ロケット打ち上げ時の 10G の準静的荷重に耐えることができることを証明するため。  
<試験／解析の内容> 1.6m のロープをローバーに結び、0.7 秒の周期で 20 秒間等速円運動させた。なお、このときローバーにかかる G は 13.2G である。  
<結果> ローバーの構造にも回路にも全く損傷は見られなかった。  
<結論> 安全率を 1.3 以上見積もっており、ロケット打ち上げ時の 10G には十分耐えることができると考えられる。

---

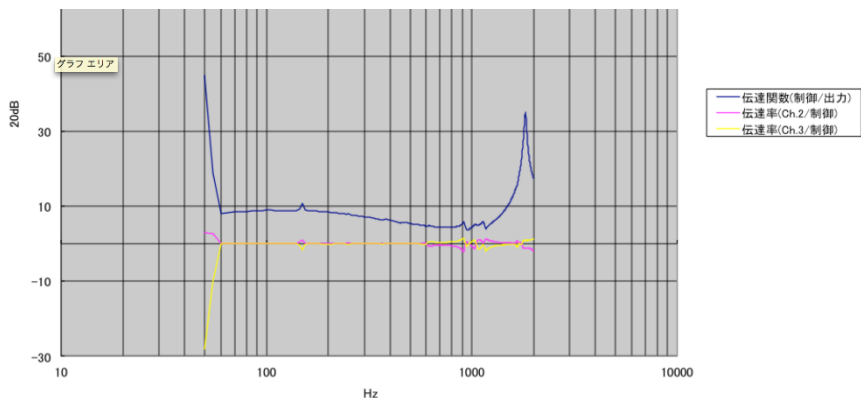
### (V6) 振動試験

<目的> ロケット打ち上げ時にかかるとされる 30Hz から 2000Hz の 15G ランダム振動に耐えることができることを証明するため。

<試験／解析の内容> 東京大学 7 号館の振動試験装置を用いて、15G のランダム振動をかけた。

<結果> 振動のグラフからも、また試験後のローバーの挙動を見ても、構造・回路ともに損傷は全くなかった。

<結論> 我々のローバーは、ロケット打ち上げ時の 15G のランダム振動に耐えることができると考えられる。

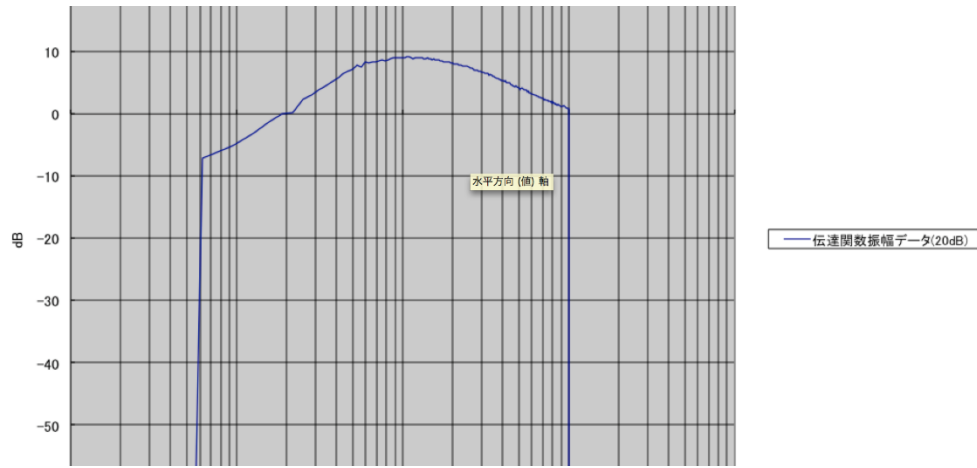


ランダム振動をかけたときの伝達関数のグラフ

---

### (V7) 打ち上げ・放出衝撃試験

<目的> 衝撃荷重 40G に耐えることを証明するため。  
<試験／解析の内容> 振動試験同様、東京大学 7 号館の振動試験装置を用いて、40G の衝撃荷重をかけた。  
<結果> 振動のグラフからも、また試験後のローバーの挙動を見ても、構造・回路ともに損傷は全くなかった。  
<結論> 我々のローバーは、40G の衝撃荷重に耐えることができると考えられる。



衝撃荷重をかけたときの伝達関数のグラフ

### (V8) 着地衝撃試験

<目的> ローバーが着地の衝撃で壊れないことを証明するため。

<試験／解析の内容> 2016年8月20日、能代宇宙イベントにおいて試験を行った。上空約50mの気球から投下し、パラシュートの開傘、ケーシングの展開を行った。

<結果> 着地衝撃を受けた後も、正常に動作することが確認できた。

<結論> 我々のローバーは、着地の衝撃に耐えることができると考えられる。

### (V9) 通信機電源 ON/OFF 試験

行わない。

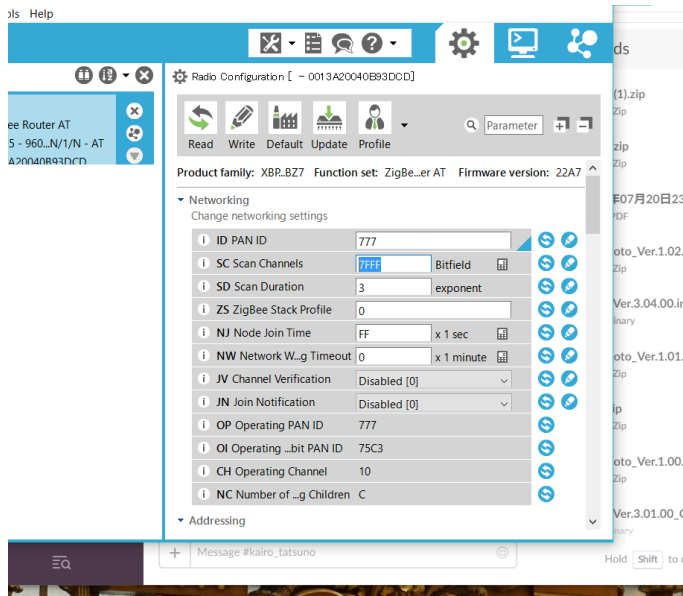
### (V10) 通信機周波数変更試験

<目的> 無線機の周波数を変更できることを確認するため。

<試験／解析の内容> パソコンから無線機に対して周波数変更の操作をすることにより、無線機が使う周波数が変更できるか確認する。

<結果> 周波数が変更され、正常に動作した。

<結論> 周波数を変更できることが確認できた。





青色でハイライトされた部分を変更することで周波数の変更が可能になる。

---

#### (V11) 制御走行試験

<目的>ローバーを目的地に向かって走行させるため。

<試験／解析の内容>2016年8月20日に能代宇宙イベントでGPSと地磁気センサを用いながら、モーターをPID制御することによって、設定した目的地へ到達させる試験を行った。

<結果>PID制御によってローバーは直進し、かつGPS及び地磁気センサによりあらかじめ入力した目的地のGPS座標に向かって走行した。また、この際に障害物（ここでの障害物とはローバーの走行を妨げるもの。例：車の轍、斜面の凹凸など）に対して回避行動をとることが確認できた。

障害物回避のプログラムは、GPS座標が変化しないことを検知して、モーターの出力をあげて、スタックから復帰することを目指す。そのアルゴリズムは2つあり、一つはランダムウォーク、もう一つはひたすら右に進むという制御を行っている。

<結論>ローバーの走行を制御することができていることが確認された。

<参照><https://www.youtube.com/watch?v=rh9lSOULckE&feature=youtu.be>

---

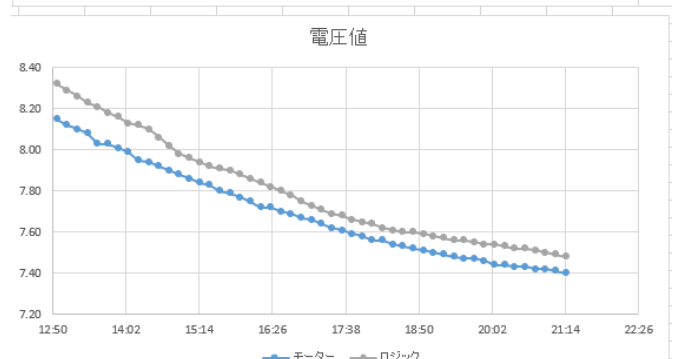
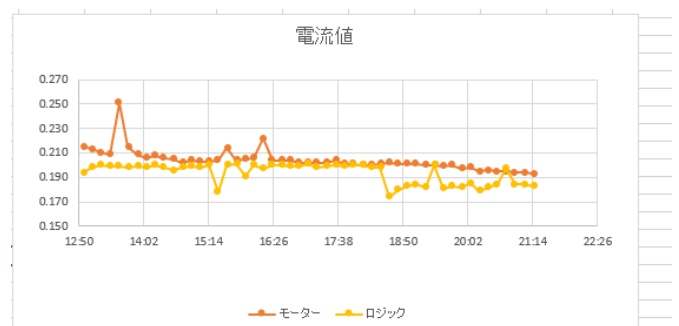
#### (V12) 制御履歴レポート作成試験

<目的>ローバーの内部処理を分析することで、ゴールへの到達が偶然ではなく、制御に基づいたものであることを証明するため。

<試験／解析の内容>ローバーの走行試験を行い、モーターの制御情報や各動作フェーズの開始と終了に関するデータ、センサログなどのログを取得し、走行試験後にコンピュータを用いて解析した。

<結果>データにノイズが散見されたが、地上局ではローバーの軌跡を平面上に十分再現することに成功した。また、ニクロム線の切断とモーターの制御が正常に動作していることも確認できた。

<結論>ローバーのSDカードにログが正常に記録でき、ローバーを回収することができれば、制御履歴は問題なく確認できるといえる。さらに、無線受信のログより、同様なレポートを作成できるので、冗長性があると考えられる。



#### (V13) 電力試験

<目的>ミッション完遂に十分な電力量をローバーが持

っていることを示すため。

<試験／解析の内容>我々のローバーは、マイコン用とモーター用の二つの電池を搭載している。いずれもリチウムポリマー電池であり、マイコン用の電池は 7.4V,2900mAh、モーター用の電池も同じく 7.4V,2900mAh である。

<結果>電圧をプロットしたのが右のグラフである。定期的にモーターに負荷をかけていくと、約八時間駆動し続けていても 7.4V 以上を保っている。

<結論>Arduino Mega は 7V 以上、モーターは 6V 以上で安定的に動作するため、長時間駆動を続けることが証明された。

---

#### (V14) End-to-End 試験

<目的>ロケット放出からの一連の動作が正常に作動することを証明するため。

<試験／解析の内容>2016年8月20日、能代宇宙イベントにおいて試験を行った。上空約 50m の気球から投下し、パラシュートの開傘、ケーシングの展開を行ったのち、ゴールに向けて走行する。

<結果>パラシュートの開傘、ケーシングの展開、ゴールへの走行のすべてにおいて問題なく動作し、ゴールの 3.68m まで近づくことができた。サブミッションであるカメラの運用も順調であったので、当日にカメラ基盤で撮影した写真と End-to-End 試験の動画を添付する。

<結論>すべてのシーケンスが問題なく動作したため、今後は信頼性の向上を目標とする。

---

### 3. 会計/電力/質量/サイズの配分

#### 【会計】

回路系	¥89,759
構造系	¥28,983
その他	¥3,094
合計	¥121,836

#### 【電力】

モーター電源・マイコン電源ともに 0.3A/h だったので、ともに 7 時間程度はもつ計算となる。

**【質量】**

ローバー本体	750 g
パラシュート・ケーシング	260 g
合計	1010 g

**【サイズ】**

円筒形の高さが、スポンジも含めて約 230 mm。スポンジのない側の底面にパラシュートを小さくたたんで乗せ、レギュレーションの 240 mm以下となるようにする。

## 5.設計図

別途資料を添付する。

## 6.使用部品

### <<電子系>>

地磁気センサ	HMC5883L	秋月電子
GPS	GMS6-CR6	秋月電子
Xbee	Xbee pro s2b (海外版)	PARALLAX
加速度センサ	ADXL-335	秋月電子
光センサ	GL5549	千石電商
マイクロSDスロット	microSD カードスロット 2.54mm ピンピッチ変換モジュールセット	秋月電子
スピーカー	PT08-Z185	秋月電子
MOSFET	2SK4033	秋月電子
I2C用ロジック変換	PCA9306	秋月電子
8bitロジック変換	FXMA108	秋月電子
Xbee用ピッチ変換	Xbee用 2.54mm ピッチ変換基板	秋月電子
Arduino	Arduino MEGA	秋月電子

### <<動力系>>

分類	名称・型番	入手先・参考情報等	備考
モーター	ダイセンギアド モーター		ギア比 1:60
モータードライバ	TA7291P	秋月電子	
モーターベアリング	ベアリング		内径 8、外径 14
モーターハウジング	ハウジング	部品を加工	内径 14

### <<構造系>>

分類	材質・型番	入手先・参考情報等	備考
タイヤ・主材質	発泡ポリエチレン(発泡効率 15 倍)	東急ハンズ	厚さ 15mm,20mm

タイヤ・押さえ板	アルミニウム	東急ハンズ	厚さ 0.3mm
タイヤ・パイプ	アルミニウム	東急ハンズ	厚さ 1mm,0.5mm
タイヤ・内円盤	MDF 合板	東急ハンズ	厚さ 1mm
タイヤ・補強材	PP 板	引継ぎ	厚さ 1mm
スペーサー	ジュラコン	千石電商	M3
スタビライザー	ステンレスメジャー	引継ぎ	長さ 85mm、4 枚重ね
地磁気センサー収納部	プラスチック	各コンビニ	

## 7.製作時に使用した機材・サービス

分類	名称・型番	入手先・参考情報等	備考
特になし			

## 8.その他