

実験報告書

【V1】 質量計測

目的

ローバの質量が既定の質量 1050[g] 以内であることを確認する。

試験／解析の内容

本試験では、本番当日ロケットに収納する全ての機材（ローバ本体、回路部品、保護ケース、パラシュートなど）の質量を計測し、既定の質量以下であることを確認した。

ローバは本番では保護ケースで覆った状態でキャリアに収納するため、保護ケースを覆った状態で計測する。図 1-4 に保護ケースを収納させたローバの図を示す。

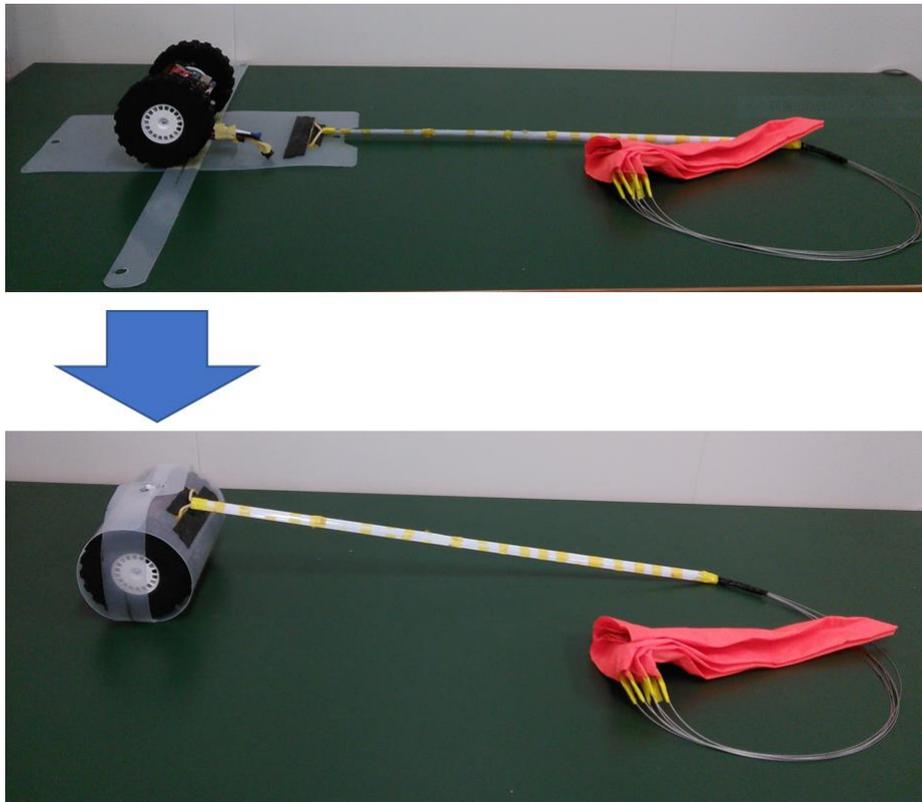


図 1-4 保護ケースに収納させたローバ

結果

質量計測結果を図 1-5 に示す。

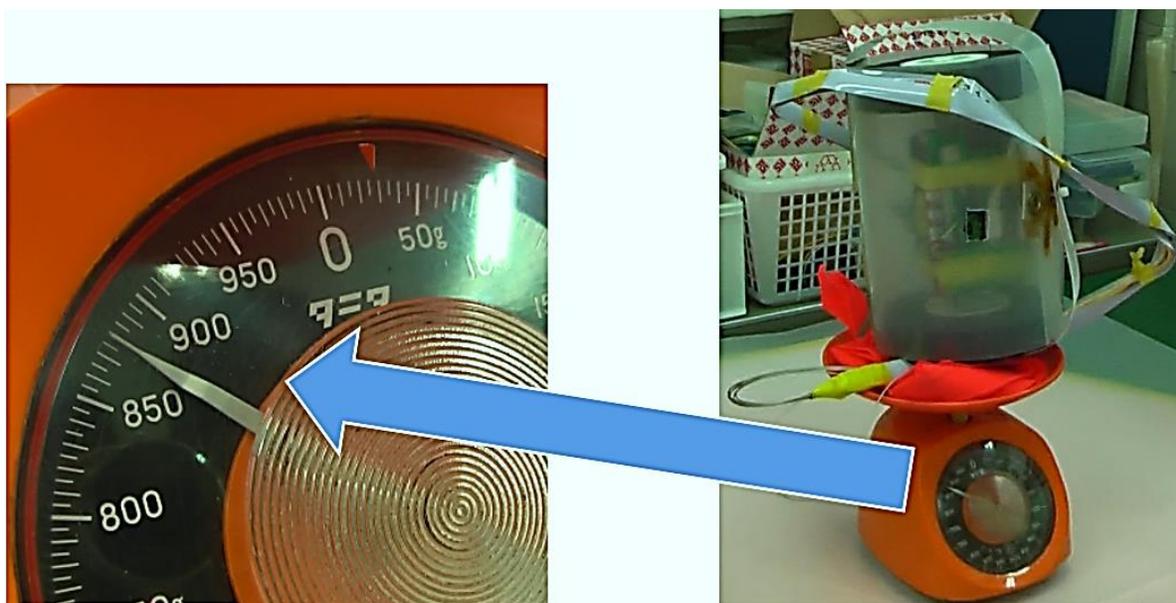


図 1-5 質量計測結果

計測結果、目盛りは 880[g] だった。

ローバの質量は 880[g] だったため、規定の重量 1050[g] を超えないことが確認できた。

また、この試験の様子を動画にまとめた。（下記 URL を参照）

●質量計測試験の動画 URL : <https://youtu.be/z9Ay5Ci1K0c>

結論

ローバの質量測定結果及びパラシュートを付けた質量測定の結果より、本機体は既定の 1050g 以内であることが確認できた。

【V2】 キャリア収納実験

目的

既定サイズのロケットに収納可能であることを確認する。

試験／解析の内容

本試験ではローバがロケットに収まることを確認した。

キャリアに収納できることを証明するため、ARLISS で購入したキャリアにローバを収納することで規定寸法であることを確認した。キャリアの寸法奥行きを図 2-1、外径を図 2-2 に示す。

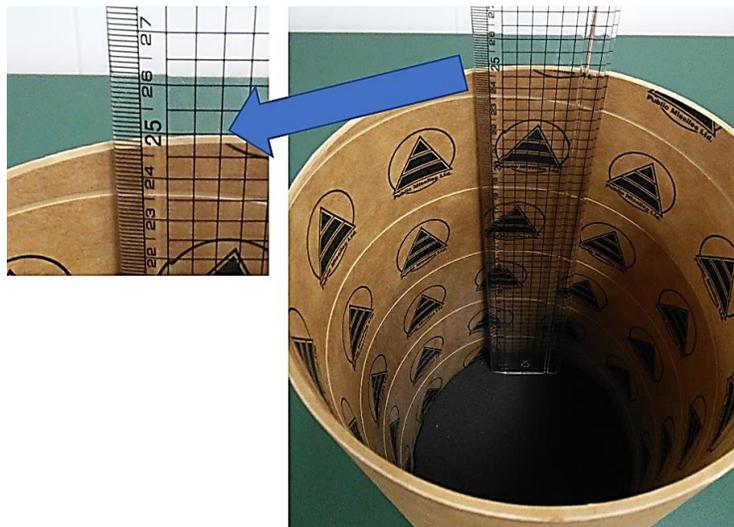


図 2-1 キャリア収納ケースの奥行き寸法

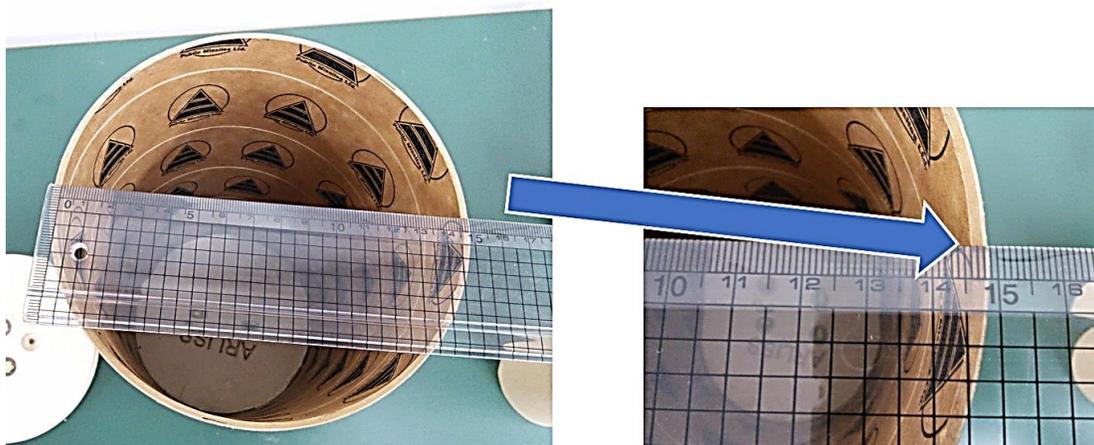


図 2-2 キャリア収納ケースの外径寸法

図 2-1、図 2-2 から、キャリアが ARLISS 規定の奥行き 240mm 外径 146mm であった。

図 2-1 では目盛りは奥行き 245mm を指しているが、実験では収納後 5mm 厚の蓋を閉めたため、キャリアの奥行きは 240mm である。

また、ローバは保護ケースで覆った状態で、キャリアに収納するため、保護ケースに覆った状態で計測する。保護ケースを覆った図を図 2-3 に示す。

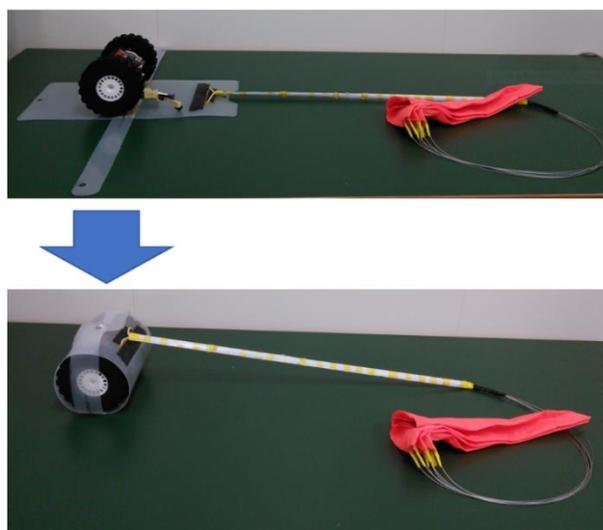


図 2-3 保護ケースに収納させたローバ

結果

規定の寸法のキャリアへローバを収納できることが確認できた。
キャリアへローバを収納した図を図 2-4 に示す。

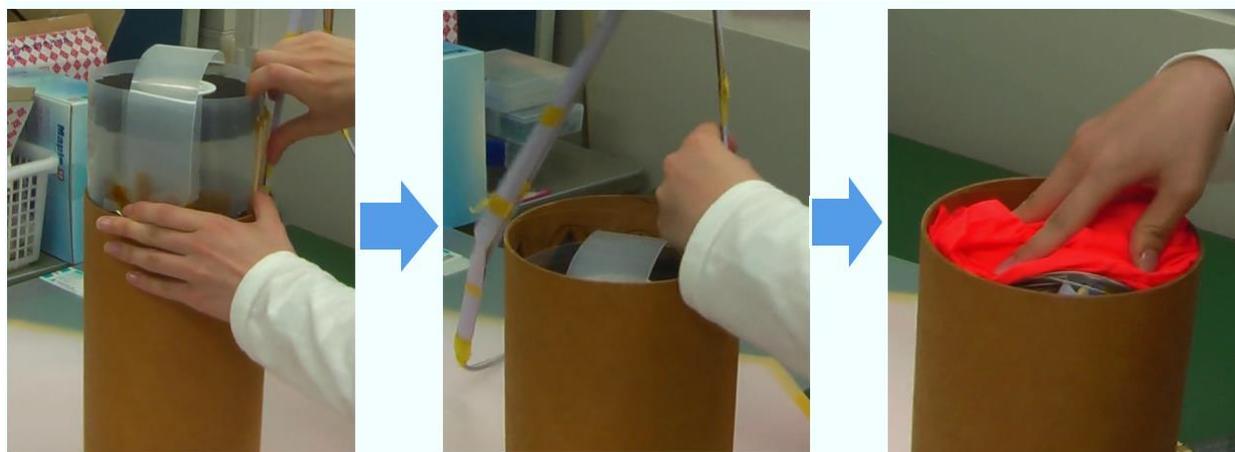


図 2-4 キャリアへ収納したローバ

また、この試験の様子を動画にまとめた。（下記 URL を参照）

●キャリア収納試験の動画 URL : <https://youtu.be/H1GeMvBvDEY>

結論

ローバの寸法測定結果より、本機体は既定サイズのロケットに収納可能であることが確認できた。

【V3】長距離通信試験

目的

長距離通信が可能で、ローバのロスト対策として有効である事を確認する。

試験／解析の内容

interplun IM920（使用周波数：920MHz帯）を使用し、長距離での無線の受信を行い、ローバの位置する方向瀬の特定が可能か確認した。

Interplun IM920c(送信機)からの電波を Interplun IM920(受信機)に受信し、受信データを接続したPCに送信し Teratermにて表示することができれば成功とする。

今回の実験では、送信データは経過時間だが、ARLISS本番では位置座標を送信することにより、ロスト対策を行う。

実験では4kmの通信を目標とした。4kmの目標値根拠として、まず、自団体のパラシュート色はオレンジ色で目視にて放出後のローバ方角を追跡した後に、そこから搜索をすることを目的に4kmの追跡を目指した。また、実験を行うにあたり、地理的に見通しが取れる場所が近くには4kmが限界であるためである。



図 3-1 受信機 Interplun IM920



図 3-2 送信機 Interplun IM920

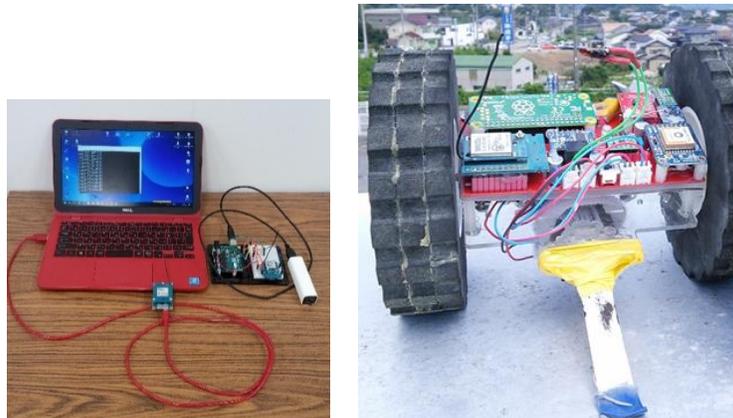


図 3-3 実際に使用した受信機(左)と送信機(右)

距離の指定場所：③約 4.0km【緯度 34.79416666 経度 137.13055555】
～【緯度 34.76916666 経度 137.16861111】の距離

結果

4km の無線受信

ローバを組み込んだ送信機送信機位置を【緯度 34.79416666 経度 137.13055555】に配置し、受信機を【緯度 34.76916666 経度 137.16861111】に配置し無線通信を試したところ、無線通信が成功した。

以下に、送信機位置写真、送信機位置の緯度経度、受信機位置写真、受信機位置の緯度経度、受信～送信位置の Google MAP、実際に取得したデータを示す。



図 3-4 送信機の位置の写真 1



図 3-5 送信の位置の写真 2

緯度	34.79416666	⇒	緯度経度をGoogleMapで確認				
経度	137.13055555						
	↓	↑					
緯度	34	度	47	分	39	秒	
経度	137	度	7	分	50	秒	

図 3-6 送信機位置の緯度経度変換(図 3-4 の GPS ログ一時分秒からの変換)



図 3-7 受信機の位置の写真

緯度	34.76916666			⇒	緯度経度をGoogleMapで確認		
経度	137.16861111						
	↓	↑					
緯度	34	度	46	分	9	秒	
経度	137	度	10	分	7	秒	

図 3-8 受信機位置の緯度経度変換(図 3-5 の GPS ログ一時分秒からの変換)



図 3-9 4km 間の GoogleMap での距離測定

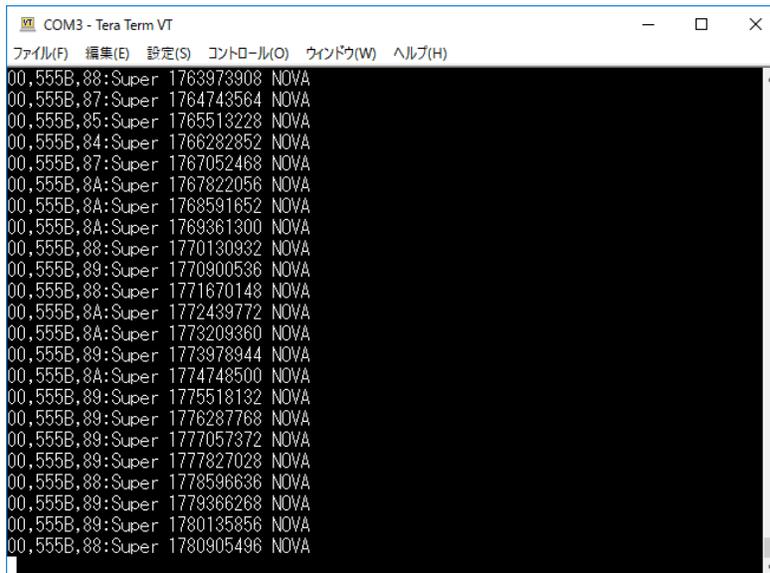


図 3-10 4km 間で実際に取得したデータ

実験を行った結果、約 4km の長距離通信が可能であることが確認できた。

送信機から受信した GPS データをリアルタイムで表示されている動画を撮影した。

●長距離通信試験：https://youtu.be/OSNL_VA6FLM

実験を行った結果、約 4km の長距離通信が可能であることが確認できた。

結論

IM920 をローバに搭載した状態であっても、同様に 4km 離れた地点でデータを受信することができた。これにより得たデータによりローバの位置を特定し、ローバの位置を把握できることを確認した。

【V4】落下試験

目的

パラシュートを用いた落下試験を行い、パラシュートが確実に開くこと、着地時の衝撃でローバに損傷や異常がないか確認する。

試験／解析の内容

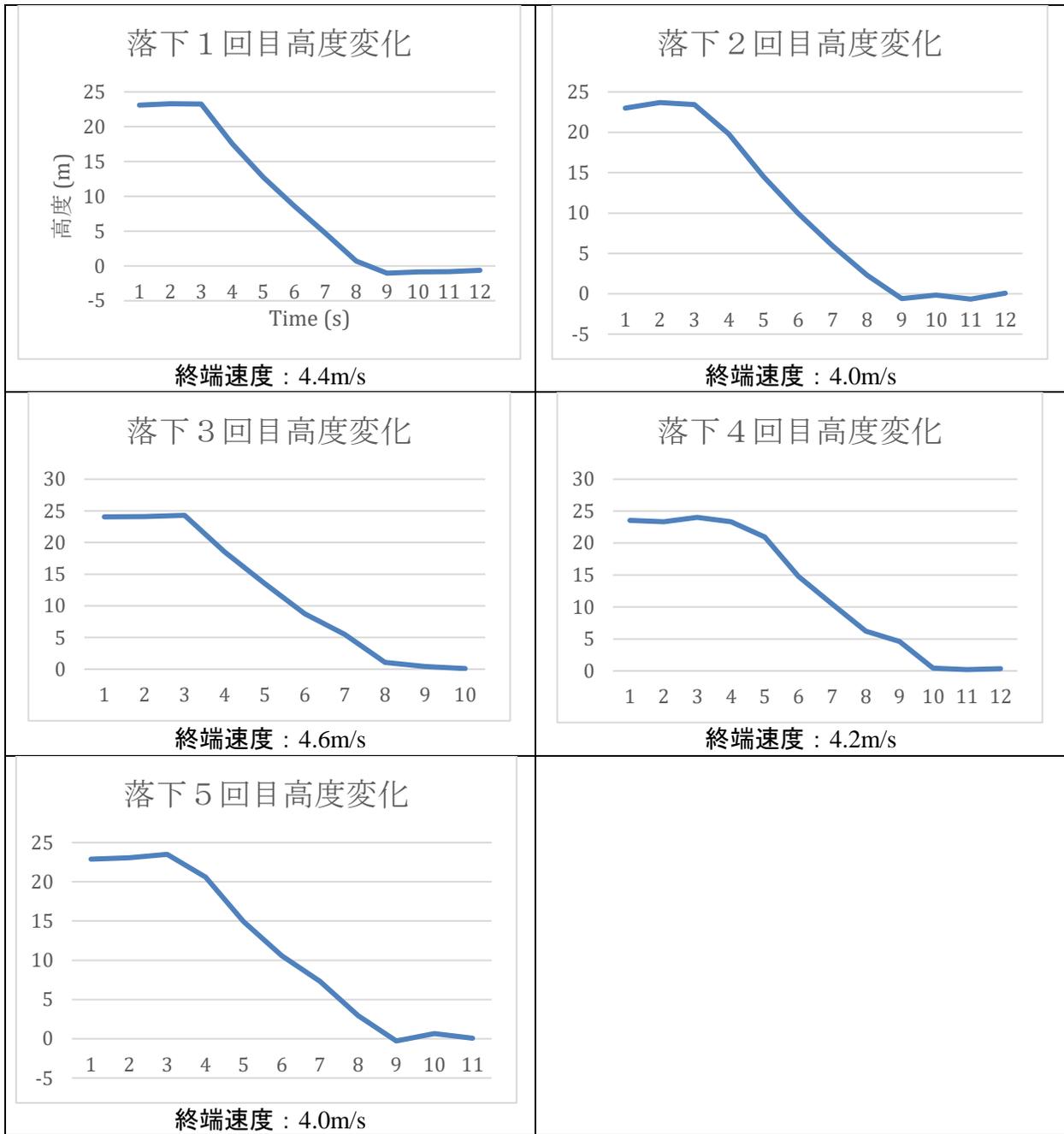
ローバにパラシュートを付けた状態で落下させた。

愛知工科大学7号館7階の高度21mからの投下試験を行った。パラシュートが確実に開き減速ができるか、ローバに損傷がないか、機体の正常な動作をしたかなどを確認した。

結果

実験回数	成功 or 失敗	詳細	動画 URL
1回目	成功	機体に問題は無かった。ローバが柵外に落下し、20秒後に開始されるパラシュート離脱動作がされず、距離の遠さからローバとの無線が切断されたと動画内では思っていたが、実際はタイマーが間違っていて200秒設定されていたので結果としては動作に無かった。	https://youtu.be/1ihtpZ_MDhs
2回目	成功	機体に問題は無かった。途中実験場で車が通ったので離脱動作の前に場所を移動した。	https://youtu.be/CqAIVr-YjxA
3回目	成功	機体に問題は無かった。	https://youtu.be/eY_GdhJStYc
4回目	成功	機体に問題は無かった。	https://youtu.be/9RtwKCNAW50
5回目	成功	機体に問題は無かった。途中実験場で車が通ったので離脱動作の前に場所を移動した。	https://youtu.be/YIEK7uQ0YFY

また、落下時の高度と時間のデータグラフを表4-1に示す。



結論

パラシュートが問題なく開傘し、減速機構として機能することを確認した。また機体に損傷は見られず、正常に動作することを確認した。

【V5】 静荷重試験

目的

ロケットの打ち上げにかかると想定される大きさの静荷重をローバに与え、ローバがそれに耐えられることを実証する。

試験／解析の内容

ARLISS2017 のデータ解析結果より、ロケット打ち上げ時にかかる加速度は最大約 8 G が約 5 秒間ローバへかかっていることがわかった。

加速度値と時間に余裕をもうけ、ローバへの側圧が最大とされた 10G の加速度に相当する大きさの静荷重を 10 秒間ローバに与えた後、機体や回路に損傷がないか確認した。

実際の ARLISS2017 の打ち上げ時加速度データを図 5-1 に示す。

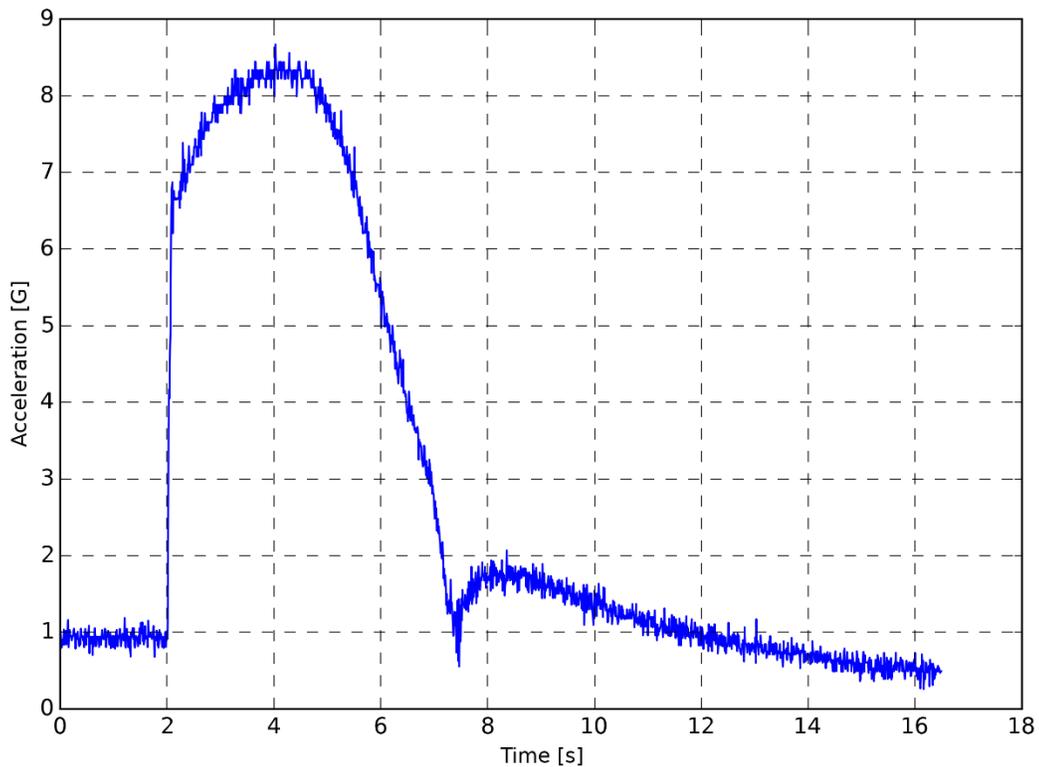


図 5-1 ARLISS2017 打ち上げ時加速度データ

予めセンサや動力系が正常に動作することを確認し、その後 CanSat に搭載し、長いロープを取り付けたトートバッグに入れ、その紐を持ちトートバッグを振り回し回転運動の遠心力で加速度を与える。実際に行った実験写真を図 5-2 に示す。



図 5-2 遠心力で 10G をかけた様子

キャリアに搭載した加速度センサの値を無線通信で PC 画面により確認し、10G を超えた時点から力を緩めず 10 秒間回転運動を継続し、連続的な遠心力による加速度をかける。その後、CanSat をキャリアから放出し、各種センサと動力系が正常に動作することをもって CanSat が静荷重に耐えうることを確認した。

結果

10G を 10 秒以上 3 回繰り返しかけた後に CanSat に搭載するセンサ(光・加速度・ジャイロ・温度・気圧・GPS)は正常に動作し、その後問題なくパラシュート焼き切り動作を行い、正常に走行することを確認した。

実際に 10G を 10 秒以上観測している加速度データログのグラフを図 5-2 に示す

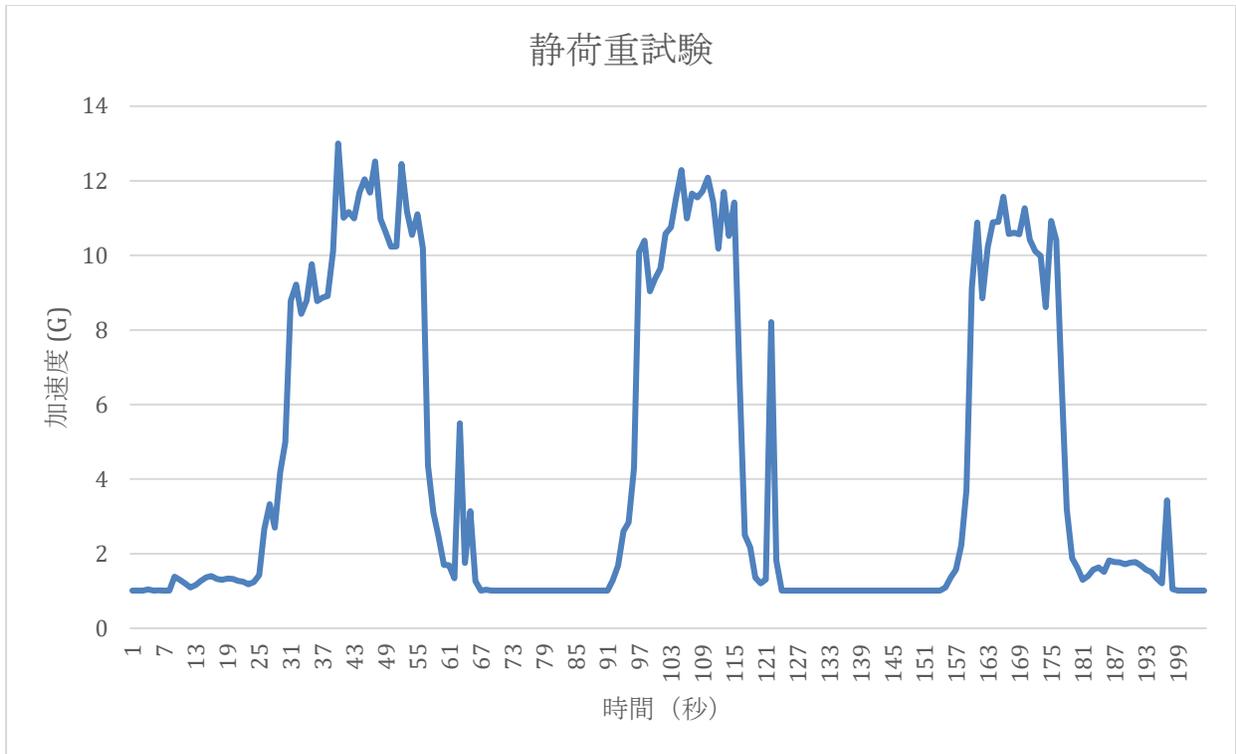


図 5-2 加速度センサの数値（縦軸はかかった加速度[G]，横軸は時間[1/10s]）

静荷重試験の様子は動画に撮り、異常の有無の確認を記録した結果からも、機体の異常は見られなかった。（下記の URL を参照）

●静荷重試験の動画 URL：<https://youtu.be/r-g6ywh3IIM>

結論

ローバを打ち上げる際に想定される衝撃に相当する静荷重に、ローバが耐えられることが確認できた。

【V6】 振動試験

目的

ロケット打ち上げ時の振動にローバが耐えられることを確認する。

試験／解析の内容

放出までにかかるローバへの重力による要求条件として、最大 10G の加速度で振動数を 30Hz と設定し、振動発生機にローバを固定し、振動試験として打ち上げからローバ放出までの時間として3分間行う。

本校振動実験機ではランダム加振ができないので、20～2000Hz 10G の Log Sweep 振動を3分間与える実験を追加で行った。振動試験前後にセンサ類がきちんと機能するかどうかを確認し、さらにローバ機体やモータに異常がないかを確認するため、走行確認実験も行った。



振動数
30Hz 設定

図 6-2 振動試験機器の設定



振動試験機
振動台座
400mmx400mm

図 6-2 実験で使用する機器

結果

振動試験時にローバに搭載されている 3 軸加速度センサにて取得した加速度の大きさを示す。加速度の大きさ $Acc (G)$ は x , y , z 軸方向の加速度を A_x , A_y , A_z としたとき、式(1)で求めた。

$$Acc (G) = \sqrt{A_x^2 + A_y^2 + A_z^2} \quad (1)$$

加速度データは 1/10 秒間隔でサンプリングした。30Hz 10G 3 分間の振動を与えたときの加速度データをローバ本体の加速度センサで取得したデータを図 6-3 に示す。このデータでは 5~6G 程度の加速度になっているが、振動台本体に取り付けられた加速度センサの値を振動装置のメータで読み取った値は 10G であるため、キャリアに収納されたローバ内部基板に加わる振動は、タイヤ等により軽減され、5~6G 程度になっているものと思われる。

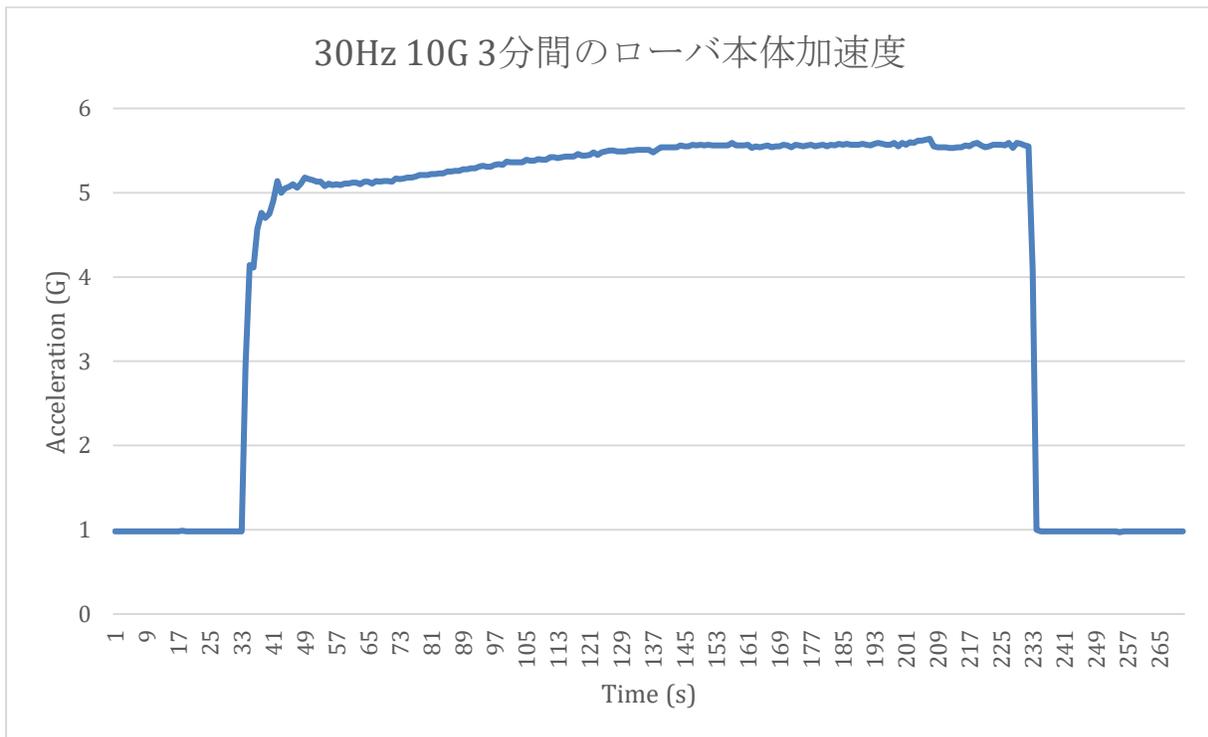


図 6-3 30Hz 振動 3 軸の加速度の大きさ

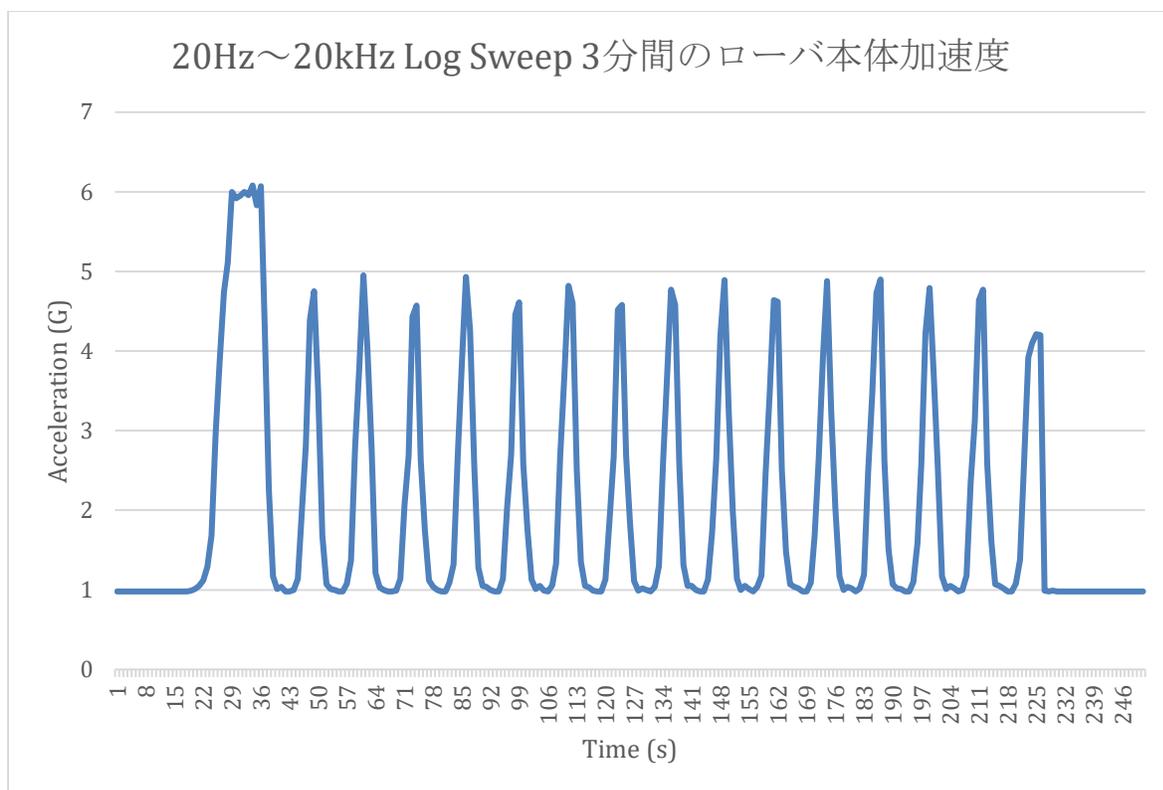


図 6-4 20~2000Hz Log スイープ振動 3 軸の加速度の大きさ

20~2000Hz 10G 3 分間 Log スイープを与えたときのローバ本体の加速度センサで取得した加速度データを図 6-4 に示す。この図でも、30Hz 固定時と同様に 5G 程度になっているが、これも内部のタイヤ等により振動が軽減されているための考えられ、また高い周波数に関しては、サンプリング周波数が 10Hz であり、加速度センサ内部のローパスフィルタにより減衰しているため、このようなギザギザな加速度データになっているものと考えられる。

30Hz 10G 3 分間の振動試験、及び 20~2000Hz 10G 3 分間 Log スイープ振動試験の結果、タイヤ・基板・機体には損傷は見られず、その後のセンサの値や走行にも問題がないことが確認できた。

振動試験の様子は動画に撮り、異常の有無の確認を記録した結果からも、機体に異常は見られず、正常に動作することが確認できる。(下記の URL を参照)

●30Hz 10G 3 分間振動、20~2000Hz 10G 3 分間スイープ振動試験の動画 URL :

<https://youtu.be/njx9XrTqvFw>

結論

ロケット打ち上げ時にローバに加えられる振動により、ローバの各種センサが正常に動作し、また機体に損傷がみられないことを確認した。

【V7】 分離衝撃試験

目的

ローバがロケットから放出される時の衝撃に機体が耐えうるかを衝撃試験により確認する。また、ロケットから放出され、パラシュートが開傘する際の衝撃に結合部が耐えられ、パラシュートや機体に損傷がないことを確認する。

試験／解析の内容

ローバ機体がロケットから放出されパラシュートが開傘する際の瞬間的な大きな加速度を昨年のデータから 30G 相当と想定し、評価試験を実施した。

ARLISS2017 の放出時加速度データを図 7-1 に示す。

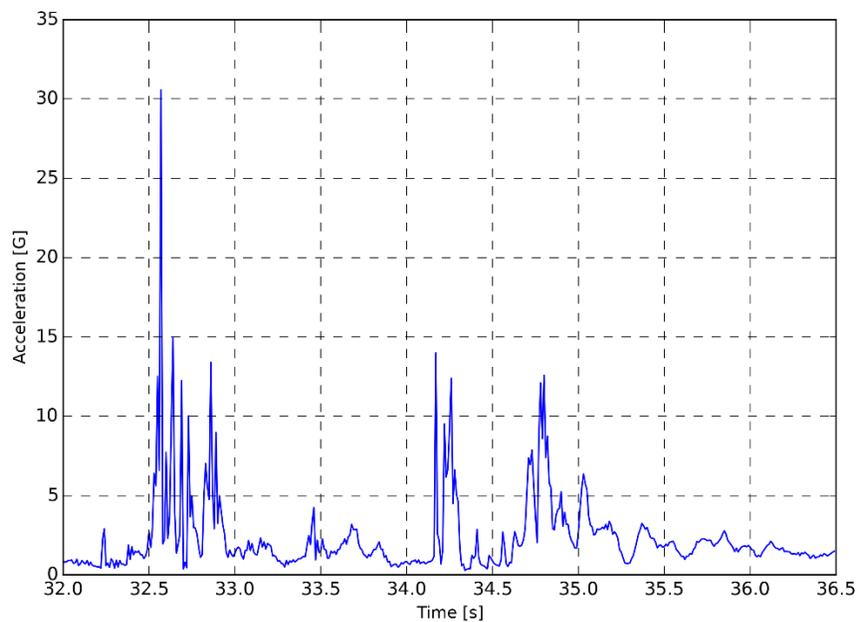


図 7-1 ARLISS2017 の放出時加速度データ

30G の加速度を基準値として、ローバのパラシュートを手で持ったまま、高い位置から自由落下させ、その際ローバの加速度センサを測定した結果 30G を超えた衝撃を観測したとき、30G の加速度が加わっていたときのローバの状態に異常が無いか評価し、問題が無ければ成功とする。

実際の昨年度の実験方法の図を図 7-2 に示す。



図 7-2 実験のイメージ

結果

分離衝撃を 12 回行い、約 30G の加速度がかかるようにした。

実際にかかった加速度のログデータを図 7-3 に示した。

図では約 25G 以上の数値を観測している部分が分離衝撃を与えている部分となっている。

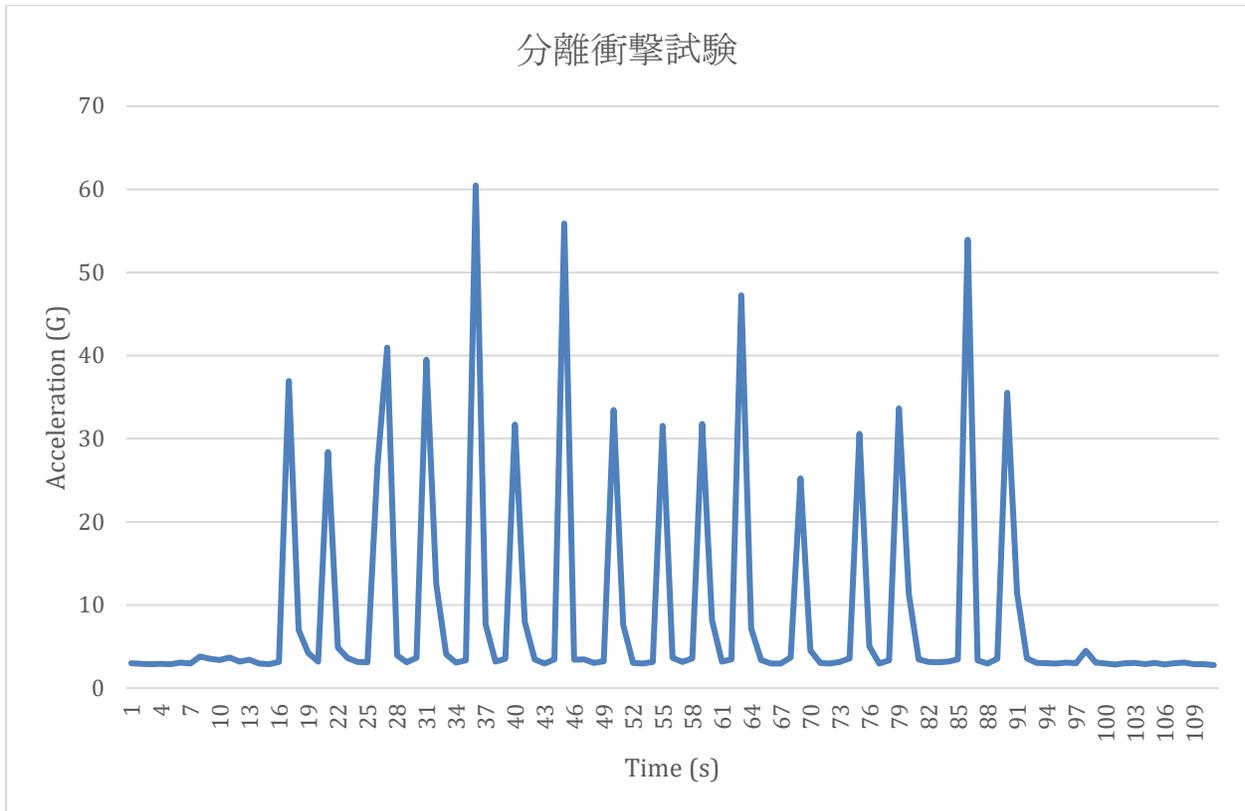


図 7-3 分離衝撃の数値 (縦軸はかかった加速度[G], 横軸は時間[1/100s])

図 7-3 から 30G 以上を観測した衝撃は 14 回観測できた。

12 回の 30G 以上の衝撃と、25G 以上の衝撃、19G の衝撃を与えた後、パラシュートの接合部、ローバ保護カバーとの接合部に損傷は見られなかった。また機体・センサ等には損傷は見られず、その後パラシュート焼き切り機構も正常に動作した。ローバに搭載されているセンサの値や走行にも問題がないことが確認できた。

振動試験の様子は動画に撮り、異常の有無の確認を記録した結果からも、機体の異常は見られなかった。(下記の URL を参照)

●分離衝撃試験の動画 URL : <https://youtu.be/PB7hbNkJ19c>

結論

試験結果より、センサなどの電子部品及び機体、モータなどが損傷した形跡はなかったため、ロケットから放出されパラシュートが開傘する際の衝撃にパラシュートとの結合部、パラシュート及び機体が耐えられると判断した。

【V8】通信機電源 OFF/ON 試験

目的

通信機の電波が、打ち上げ時に OFF、ロケットからローバが放出される際に ON となることを確認する。

試験／解析の内容

今回使用する通信機 interplun IM920 は、既定の電波強度以下であるが FCC 確証でないため、気圧センサ値から求めた高度値を用いて通信機の電源供給を遮断する方式とした。

プログラムにてローバ電源を入れてから 20 秒後、小さい高度を検知している間はスリープモード(DSRX)に通信電波が OFF 状態になり、大きい高度を数秒間検知するとロケットが打ち上げられたと判断しその後ローバ電源入れた時の高度を数秒間検知するとロケットから放出され着地したと判断し、ジャイロセンサ値の変化が小さくなると地面に落ち停止している状態と判断し(ENRX)に入るプログラムを作成した。

実験では 4000m ほどのロケットの高度を観測する実験が不可能であるため、愛知工科大学 7 号館の建物の高さをロケットの高さと仮定した環境で行った。

大学のエレベータを利用し、ローバ電源 ON 時 1F にて高度を検知し、通信電波が OFF となっていることを確認し、その後 9F へ上昇しロケットが上昇した状態と仮定し、高度値が初期値から 15m 以上に上昇していることを 10 秒間検知したあと、1F へ降下し高度が初期値に近い値として 15m 以下を 10 秒間検知したあと、ジャイロセンサの変化が小さくなると、地面に落ち停止している状態と判断し通信電波が ON になることを確認した。

また、通信条件の手順を以下の①②③に示す。

- ① ローバ電源 ON 時 20 秒間通信電波 ON、その後電波 OFF
- ② 高度 15m 以上を 10 秒間検知するとスリープモード(DSRX)で通信電波 OFF 状態
- ③ 高度 15m 以内を 10 秒間連続で検知したあと③のプログラムへ移行
- ④ ジャイロセンサの変化が小さくなると、地面に落ち停止している状態と判断し通信モード(ENRX)で無線 ON 状態

また、実験機器として、PC に無線ログと、ローバへ有線で接続した時のプログラムのリアルタイムログを並列に表示させ、更に電波観測機としてスペクトラムアナライザで電波を測定し、電波の ON/OFF を目視で確認できるようにした。

実際の実験機器を図 8-1 に示す。

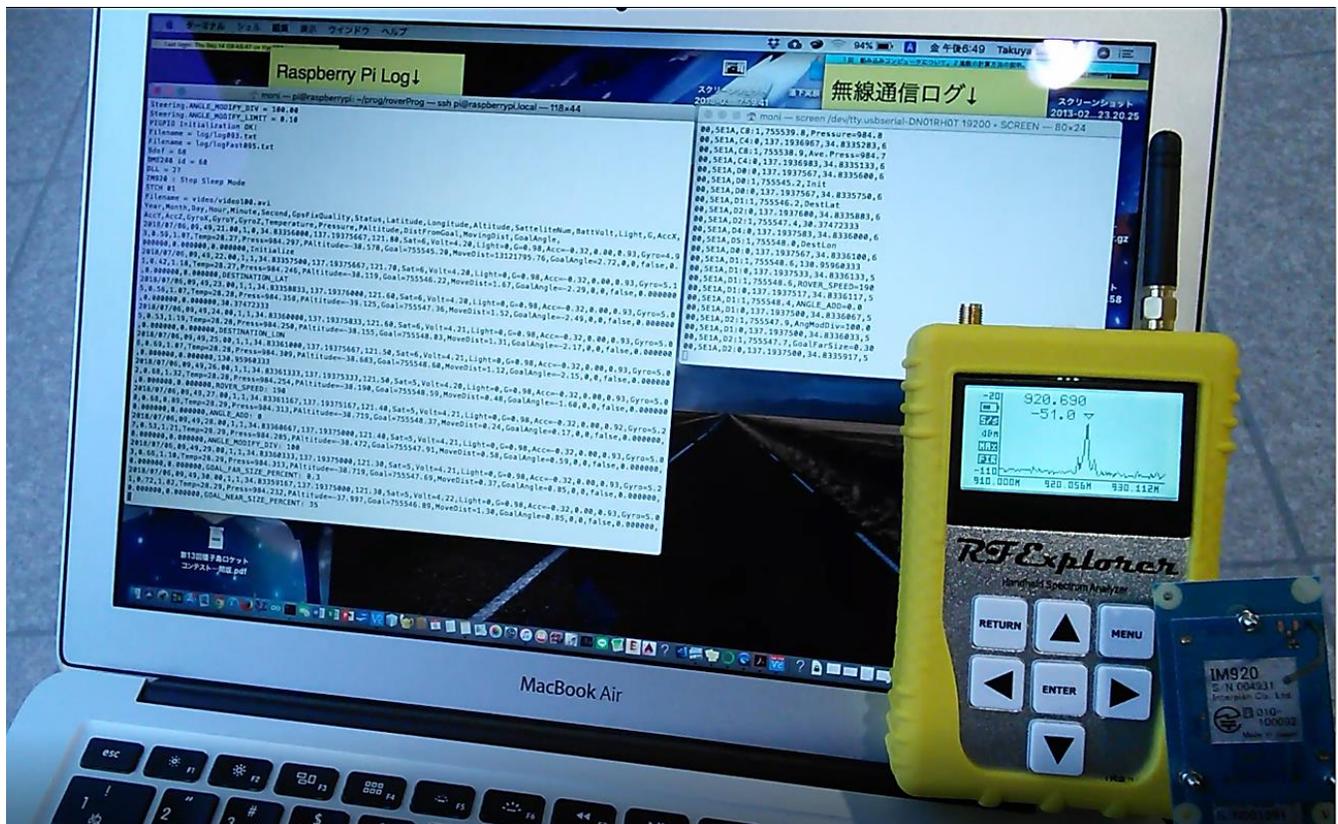
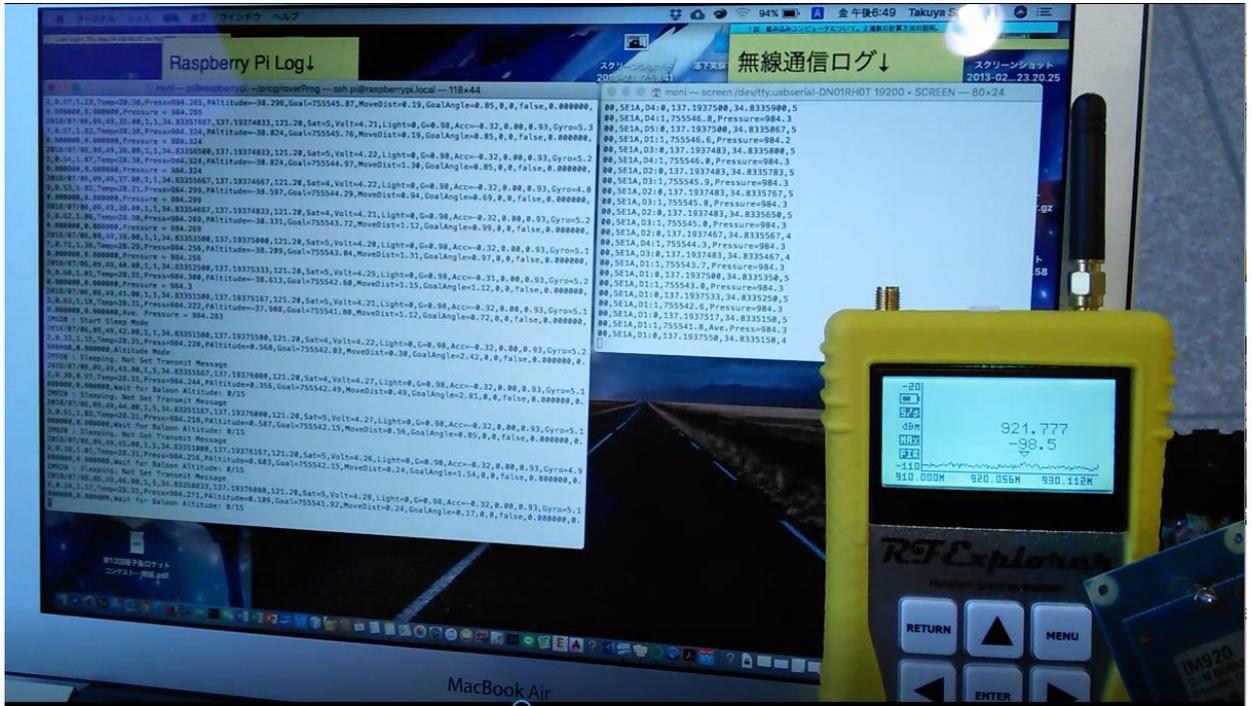


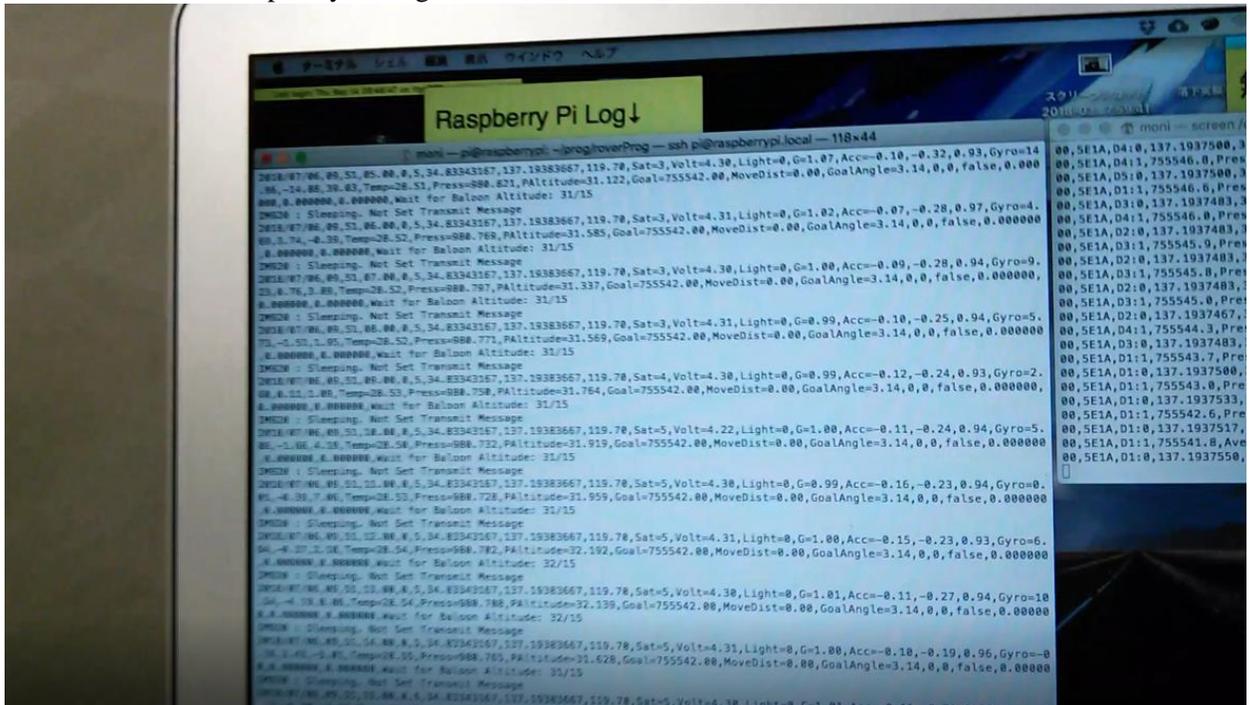
図 8-1 電波 ON/OFF を目視で確認するための実験機器

結果

- ① 建物 1F でローバ電源 ON し 20 秒後、無線通信ログが停止し、スペクトラムアナライザが 920Mz 帯の電波を観測しなくなり、無線通信が OFF になった。



- ② 建物 9F に上昇後、Raspberry Pi Log より、高度 31m を観測し、上昇したことを観測した。



- ③ 1F へ降下し、ローバを地面に置き停止させ、高度が降下したことを観測し、ジャイロセンサ値の変化が小さくなったことから、地面に着地したと判断し、無線電波が ON になった。



また、この試験の様子を動画にまとめた。(下記 URL を参照)

◆通信機電源 ON/OFF 試験の動画 URL : <https://youtu.be/i2LnoMkIAZl>

試験により、通信機電波がロケット格納時に OFF、ロケットからローバが放出される際に ON となることを確認できた。

結論

結果、試験により打ち上げ時の無線機電波 OFF の規定を遵守できることを確認した。

【V9】 通信周波数変更試験

目的

無線のチャンネル調整に応じる意思があり、実際に調整ができることを確認する。

試験／解析の内容

今回の大会で主として使用する予定の無線(interplan IM920)をプログラムにより、状況に応じて使用する通信機を切り替える措置を行った。

プログラム上でチャンネル変換を行い、データを受信する Tera Term 上で【stch (チャンネル数)】を入力後データを受信される仕様となっている。

これらの機能を用いて、無線チャンネル変更ができることを確認する。

結果

- ① IM920 と接続された Raspberry Pi zero W メインプログラム上で【sc16is750.setChannel();】の () 内の数字をチャンネル数に変更しコンパイルすることでチャンネルが変更される。実験では 5 チャンネルから 7 チャンネルに設定変更を行った。左図が実際のプログラムである。

```
1336 gp70delay( 10000 );
1337 */
1338
1339 // IM920の送信チャンネルを設定する
1340 // 1-15 (default:1)
1341 sc16is750.setChannel( 1 );
1342
1343 // IM920の送信出力を設定する
1344 // 1: -10dBm (0.1mW)
1345 // 2: 0dBm ( 1mW)
1346 // 3: 10dBm ( 10mW)
1347 sc16is750.setTxPower( TX_POWER_STARTUP );
```

図 9-1 チャンネル変更のプログラム

- ② IM920 が接続された PC の TeraTerm 上で【STCH 07】とコンパイルすると、チャンネルが 7 になる。

図 9-2 が実際のデータログである。

```
COM7 - Tera Term VT
ファイル(F) 編集(E) 設定(S) コントロール(O) ウィンドウ(W) ヘルプ(H)
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C9:1,15756841.9, DestLat
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C9:1,15756841.9,34.83314000
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C9:1,15756841.9, DestLon
00,6009,C8:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C9:1,15756841.9,137.19313500
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C9:1,15756841.9, RoverSpeed=250
00,6009,C8:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C8:1,15756841.9, AngleAdd=0.0
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C9:1,15756841.9, AngModDiv=100.0
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
OK
07
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C9:1,15756841.9, Init
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C9:1,15756841.9, DestLat
00,6009,C8:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C7:1,15756841.9,34.83314000
00,6009,C8:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C8:1,15756841.9, DestLon
00,6009,C7:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C8:1,15756841.9,137.19313500
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
00,6009,C8:1,15756841.9, RoverSpeed=250
00,6009,C9:0,0.000000,0.000000,0,0,0.00
```

図 9-2 実験でチャンネル変更したデータログ

無線 (interplan IM920) のチャンネル変更については、プログラムによりチャンネルを変更し実際に通信できることを確認した。

また、この試験の様子を動画にまとめた。(下記 URL を参照)

- 通信周波数変更試験の動画 URL : <https://youtu.be/Kq6UdYgvaNI>

結論

無線のチャンネル調整が可能である。

【V10】 End-to-End 試験

・ 目的

R1-R8 の充足を満たした設計の機体によって、ロケットの装填から打ち上げ後の回収までを模擬した End-to-End 試験を実施し、今後、安全性に関わる大幅な設計変更がないことを確認する。

・ 試験／解析の内容

キャリアからローバが放出⇒着地⇒パラシュートからの離脱⇒目的地まで自律走行⇒ゴール判定という一連の流れを通してできるか確認する。

・ 結果

グラウンド周辺にはパラシュートを展開できる高度の施設が無いため、人の手からの落下をせずキャリア投下を行った。End to End 2 回目では高度測定でのパラシュート離脱をエレベータで気球と仮定させ行った。ローバを投下はグラウンドから人の手から自由落下させ行った。着地衝撃は落下実験にて衝撃に耐えられることを試験により確認済みである。その後グラウンドを GPS で走行後、Deep Learning 画像認識でゴール誘導し 0m ゴールを行う。

今回のミッションである Google Coral TPU Accelerator を用いた高速 Deep Learning 画像認識制御は開発中であるため、今回は Google Coral TPU Accelerator 無しでの Deep Learning 画像認識での試験となっている。本番までにミッションを調整しゴールできるよう鋭意努力中である。

End to End を行った結果。キャリアに収納し、2 回目ではエレベータで放出後パラシュートを分離し、GPS を利用しゴールから 4m 近づいた後、0m ゴールし、制御履歴を取り出すことができたため、本番の手順に大きく問題はない事が確認できた。End to End 試験の動画 URL を下記に示す。

- 1 回目 End to End 試験動画 URL : <https://youtu.be/Njg1Vp1YR98>
- 2 回目 End to End 試験動画 URL : <https://youtu.be/9bYB5AL6H-4>

・ 結論

ローバの制御のみで、ローバ放出から自律走行で目的地へ 0m で到着する一連の動作を 2 回成功させることができた。

ローバ放出から自律走行で目的地へ到達するまでの一連の動作での成功率を上げていくために実験回数を今後増やす予定である。

【V11】カメラ画像によるゴールポスト判定試験

目的

ミッションである「カメラを用いてディープラーニングを利用した MobileNet SSD 及び画像認識による 0m ゴール」が、ローバのカメラによってゴールポストを検知し 0m ゴールできることを確認する。MobileNet SSD による Object Detection 処理は非常に重い処理となるため、Raspberry Pi Zero の CPU による処理では数分もの時間がかかってしまう可能性がある。そこで Google Coral TPU (Tensor Processing Unit) Accelerator USB を用いることにより、エッジデバイスであって高速なディープラーニング処理を実現する。

試験／解析の内容

GPS でゴール付近に近づいたことをプログラムで解析し、5m 以内になったところでカメラによってゴールポストを検知し、ディープラーニングによる解析結果でローバの走行を制御し、0m になるまでゴールポストへ近づく。

今回ミッションであるディープラーニング画像認識及び MobileNet SSD は、ディープラーニング画像認識まで開発が終わっているため、MobileNet SSD を除いたディープラーニング画像認識による 0m ゴール試験を行う。

今回の試験で行った際の Deep Learning のシステムについて説明する。

Deep Learning のプログラミングにはライブラリとして Keras を用いており、バックエンドとして TensorFlow を用いている。

画像認識に使用している Deep Learning のモデルの構造を図 11-1 に示す。

Layer (type)	Output Shape	Param #
conv2d_1 (Conv2D)	(None, 32, 32, 32)	896
conv2d_2 (Conv2D)	(None, 32, 32, 32)	9248
max_pooling2d_1 (MaxPooling2D)	(None, 16, 16, 32)	0
dropout_1 (Dropout)	(None, 16, 16, 32)	0
conv2d_3 (Conv2D)	(None, 16, 16, 64)	18496
conv2d_4 (Conv2D)	(None, 16, 16, 64)	36928
max_pooling2d_2 (MaxPooling2D)	(None, 8, 8, 64)	0
dropout_2 (Dropout)	(None, 8, 8, 64)	0

flatten_1 (Flatten)	(None, 4096)	0
dense_1 (Dense)	(None, 512)	2097664
dropout_3 (Dropout)	(None, 512)	0
dense_2 (Dense)	(None, 3)	1539
=====		
Total params: 2,164,771		
Trainable params: 2,164,771		
Non-trainable params: 0		

図 11-1 Model of Deep Learning

32x32 ピクセル 3 次元 (RGB) の画像を入力し、入力層では 32x32 ピクセルの 32 層の畳み込み層を 2 段経て、プーリング層で解像度を半分に減らし、25% ドロップアウトさせる。同様に 16x16 の 64 層の畳み込み層 2 段を経て、プーリング層でさらに解像度を半分の 8x8 の 64 層に減らし、25% ドロップアウトさせる。最後に 512 個の全結合層を経て、50% ドロップアウトした後、最終的に 3 つのカテゴリに判別している。

このモデルは Deep Learning の一般物体認識ベンチマークとして有名な CIFAR-10 に用いられている Keras のチュートリアル用モデルをほぼそのまま使用している。

学習に用いたデータは、ゴールが 1 ~ 5 m の距離から撮影した画像約 1,800 枚、ゴール判定用にゴール直前で撮影した画像約 540 枚、ゴールが写っていない画像約 1,700 枚を用いて学習させている。画像の種類判定は、同様の 3 種類で行っている。

実際に学習に使用している画像の例を図 11-2, 11-3, 11-4 に示す。



図 11-2 ゴール認識用にゴールから 1～5 mの距離から撮影した画像の例



図 11-3 ゴール判定用にゴール直前で撮影した画像の例



図 11-4 ゴールが写っていない画像の例

また、実際に Deep Learning を行った結果を図 11-5、図 11-6 に示す。

図 11-5 では 1～5 m地点でゴールを認識している画像である。

図 11-6 ではゴール直前なので、Deep Learning がゴール判定を行っているときの画像である。



図 11-5 1～5 m地点でゴールがあると判定している画像



図 11-6 ゴール直前でゴール判定を行ったときの画像

学習は 15 epoch 行い、その時の学習過程を図 11-7 及び図 11-8 に示す。学習に用いた画像を用いた精度 (accuracy) で約 98%、学習に用いた画像とは別の未知の画像を用いた精度 (val_acc) は 99%以上の非常に高い精度が得られていることが確認できる。

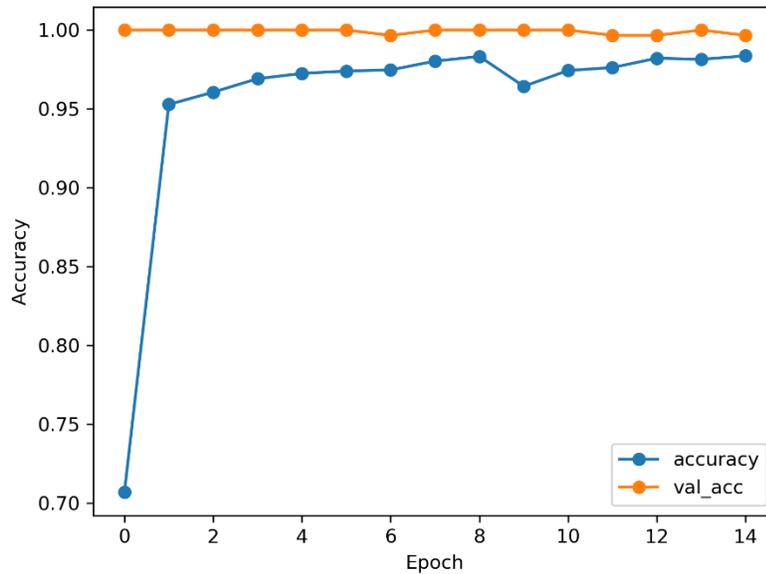


図 11-7 学習による認識精度変化

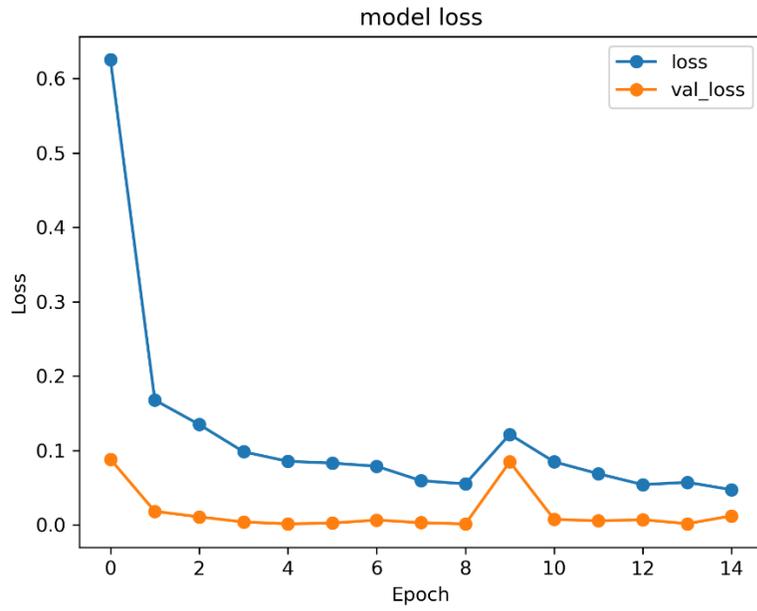


図 11-8 学習による Loss 変化

結果

ゴールポスト付近にカメラにゴールポストが写るようにローバを様々な角度で置き、5回走行ゴールポスト検知実験を行った。

表 11-1 ゴールポスト検知試験結果

回数	成功 or 失敗	詳細	試験動画
1回目	成功	ゴールへ向かって走行し、ゴール周辺を周回し、ゴールを探索しながらゴールポストへ0mまで誘導し、ゴール判定して停止した。	https://youtu.be/9iPxLpeXeA8
2回目	成功	ゴールへ向かって走行し、ゴール周辺を周回し、ゴールを探索しながらゴールポストへ0mまで誘導し、ゴール判定して停止した。	https://youtu.be/ILdmJF3obsc
3回目	成功	ゴールへ向かって走行し、ゴール周辺を周回し、ゴールを探索しながらゴールポストへ0mまで誘導し、ゴール判定して停止した。	https://youtu.be/8UvxYEPfa90
4回目	成功	ゴールへ向かって走行し、ゴール周辺を周回し、ゴールを探索しながらゴールポストへ0mまで誘導し、ゴール判定して停止した。	https://youtu.be/bJzb7BtZHmE
5回目	成功	ゴールへ向かって走行し、ゴール周辺を周回し、ゴールを探索しながらゴールポストへ0mまで誘導し、ゴール判定して停止した。	https://youtu.be/EPIeEkhHtjY

結論

ゴールポストへの誘導及びゴール判定をディープラーニングにより行うことができることを確認した。

【V12】 制御履歴レポート作成試験

目的

制御履歴から、ローバがゴールに向かって走行したことを証明する。
また、既定に従った制御履歴レポートを運営者に提出できることを確認する。

試験／解析の内容

ローバを起動した地点をスタート地点とした。スタート地点からゴール地点へ走行した時のGPS データをマイコンのSD カードにファイルを保存する。ゴールした後、GPS データファイルをSD カードから読み取り、解析して見やすい形にして表示する。
また、走行軌跡が見やすくなるように、矢印を表示する。

結果

End to End を行った制御履歴は、生データを Excel ファイルでまとめ、走行軌跡を示した画像を提出する。

Excel データはサンプリング 1s ずつ取得したものと、センサ値を詳細に 0.1s ずつ取得したファイルの 2 ファイルを、End to End 1 回目と 2 回目にまとめて提出する。

実際の Excel ファイルの図の例を図 12-1、図 12-2 に示す。

Year	Month	Day	Hour	Minute	Second	Gps Fix Quality	Status	Latitude	Longitude	Altitude	Satellite Number	Fix	HDOP	CVolt
2019	7	26	9	57	33		1	0	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=9	Fix=1	HDOP=1.28	CVolt=
2019	7	26	23	59	42.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	43.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	44.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	45.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	46.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	47.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	48.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	49.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	50.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	51.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	52.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	53.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	54.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	55.8		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	56.02		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2080	1	5	23	59	57.02		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2019	7	26	9	57	50.17		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2019	7	26	9	57	51.17		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=1	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2019	7	26	9	57	52.17		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=2	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=
2019	7	26	9	57	53.17		0	1	34.832625	137.1937183	44.9 Sat=0	Fix=0	HDOP=1.28	CVolt=

図 12-1 サンプリング 1s のデータファイル

Year	Month	Day	Hour	Minute	Second	Latitude	Longitude	Altitude	Computer Batt Volt	Motor Batt Volt	Light	acc200 x	acc200 y
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.1	-0.69
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.1	-0.88
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.1	-0.59
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	0	-0.78
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.2	-0.69
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.1	-0.88
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.2	-0.69
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.1	-0.59
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.1	-0.69
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	0	-0.78
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.1	-0.88
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.2	-0.59
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	0	-0.78
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.26	12.27	0	-0.1	-1.08
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	0	-0.88
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.1	-0.98
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	0.49	-0.69
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	0.2	-0.49
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	0.29	-0.49
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	0.39	-0.69
2019	7	26	10	2	2	46 34.8326	137.194	44.9	12.27	12.27	0	-0.1	-0.88

図 12-2 サンプリング 0.01s のデータファイル

制御出力系データはサンプリング 1s のデータより確認できる。

制御履歴必須項目は、

時系列データ：A~D 列

制御出力系データ：W~AD 列

GPS 計測値：G, H 列

に記されている。

制御出力系データの項目が分かりづらい項目を補足説明すると、

- ・ AH 列ローバ進行方向とゴールとの角度[rad]：1 秒前と現在のローバの一からローバの進行方向とゴールとの角度をラジアン単位で求め、制御に反映しています。
- ・ AI 列モータ出力スピード(-255~+255)：モータに加える出力を-255~+255(右~左)で与えています。
- ・ AJ 列スピード分解能：GPS を 1 秒ごとで制御していますが、新しい速度にする際のノイズ対策として、指定時間(0.1 秒)の線形変化でモータの出力を変換しています。(電圧の変化を少量づつにする事で、ノイズ対策)
- ・ AL 列ステアリング補正(TRUE or FALSE)：制御値からローバにステアリング補正を与えるかどうかを判定し、TRUE か FALSE で表しています。
- ・ AC 列ステアリング角度(-1~+1) (-1：左, +1:右)：左旋回最大-1, 右旋回最大+1 として、-1~+1 でステアリング角度を表しています。
- ・ AM 列修正舵(ステアリング I 制御)：モータ損傷時を考慮し、制御が片方のステアリング角度が著しく大きい時、もう片方のステアリング角度を大きくするよう I 制御を与えています。

- ・ AN 列実際のステアリング角度 (-1~+1) : AC 列ステアリング角度を AD 列修正舵に適応させた、実際にモータへ出力するステアリング角度を表している。
- ・ A0 列右モータ目標回転数 (-255~255) : 回転数制御による右モータステアリング目標回転数。
- ・ AP 列左モータ目標回転数 (-255~255) : 回転数制御による左モータステアリング実際の測定結果の回転数。
- ・ AQ 列右モータ目標回転数 (-255~255) : 回転数制御による右モータステアリング目標回転数。
- ・ AR 列左モータ目標回転数 (-255~255) : 回転数制御による左モータステアリング実際の測定結果の回転数。

また、1s サンプル生データから算出した End to End 1 回目の走行軌跡を図 12-3、2 回目の走行軌跡を図 12-4 に示す。

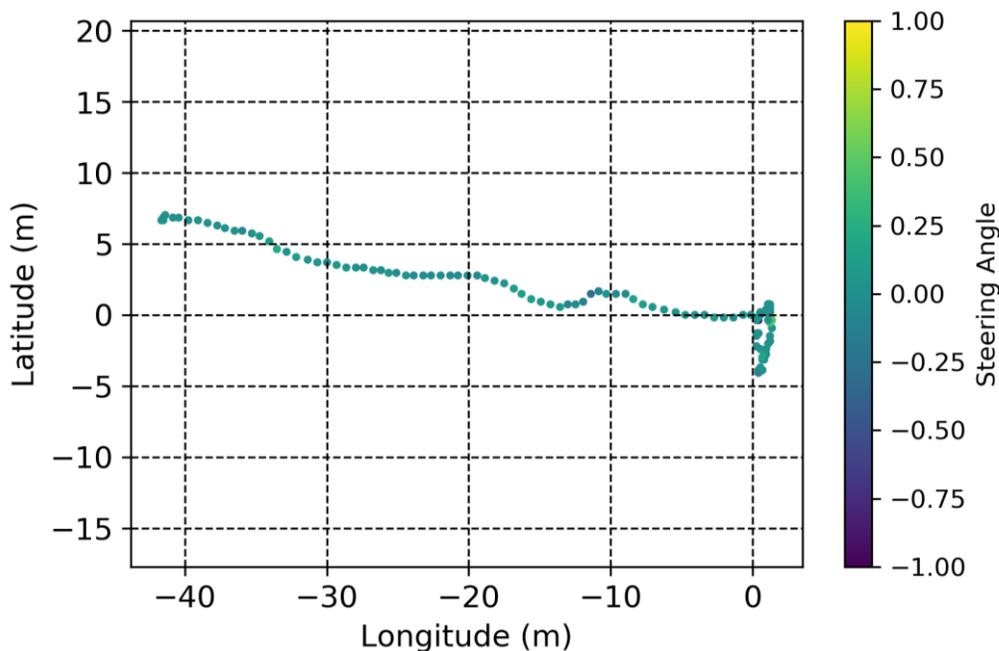


図 12-3 1 回目走行軌跡 (黄色 : 右旋回 紫 : 左旋回)

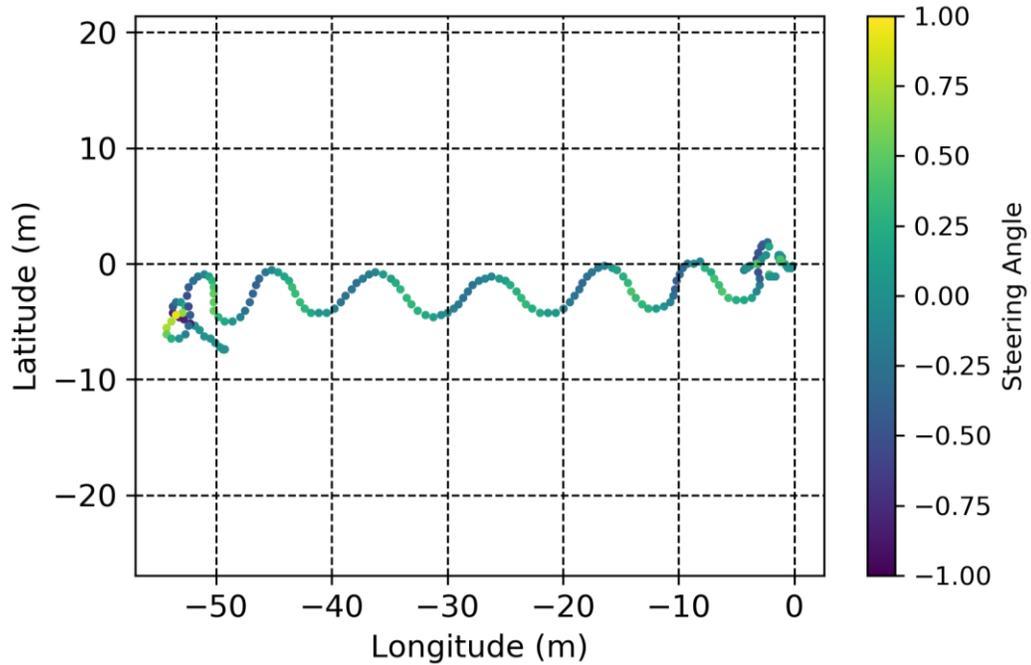


図 12-4 走行軌跡（黄色：右旋回 紫：左旋回）

走行軌跡はスタート位置と、ターゲット位置と、ストップ位置の緯度経度値を図に示しており、ステアリングの舵修正を右旋回で黄色（ステアリングアングル最大値1）、左旋回で紫色（ステアリングアングル最大値-1）に変化させ、見やすい走行軌跡にした。

End to End を行った動画と制御履歴 (Excel・走行軌跡画像) を Google ドライブで共有する。

●End to End1 回目、2 回目の制御履歴 URL :

<https://drive.google.com/open?id=1elecZLFmiOMY2esNaDVxeCT84qkVB02I>

結論

制御履歴から、ローバが目的地まで自律走行し、ゴール判定した後に停止するまでの詳細なデータを作成することが可能であり、これにより制御履歴レポートを運営者に提出できることを確認した。

【V13】 走行試験

目的

ローバが自律制御でスタート地点からゴール地点まで移動することを確認する。

試験／解析の内容

愛知工科大学グラウンドに幅40cm、高さ6cmと7cmの溝を作り、轍に嵌ってスタックしないかどうか走破性を検証した。

また、轍の中からの走行も行った。

実際に作成した轍を図13-1、図13-2、図13-3に示す。



図13-1 40cm幅の轍の写真



図 13-2 深さ 6 c m の轍の写真



図 13-3 深さ 7 c m の轍の写真

結果

実験結果を表にまとめた。

表 13-1 走行試験結果

回数	深さ	轍内外	斜面	結果	詳細	試験動画
1 回目	6cm	外	並	成功	轍を超えられた。	https://youtu.be/7NEjn1KyTMU
2 回目	6cm	外	並	成功	轍を超えられた。	https://youtu.be/9rcC0c0FOBE
3 回目	6cm	外	並	成功	轍を超えられた。	https://youtu.be/zQ6vnBuL2VI

回数	深さ	轍内外	斜面	結果	詳細	試験動画
1 回目	6cm	外	急	成功	轍を超えられた。	https://youtu.be/oj1H5IDxJxw
2 回目	6cm	外	急	成功	轍を超えられた。	https://youtu.be/W2gsfich22M
3 回目	6cm	外	急	成功	轍を超えられた。	https://youtu.be/jfokPF2UXcg

4回目	6cm	外	急	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/YI1oMhjRQas
5回目	6cm	外	急	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/ORpEoCGdS0w

回数	深さ	轍内外	斜面	結果	詳細	試験動画
1回目	6cm	内	並	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/PnD1eNoGI2I
2回目	6cm	内	並	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/-DOZQBRWZm4
3回目	6cm	内	並	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/PnD1eNoGI2I

回数	深さ	轍内外	斜面	結果	詳細	試験動画
1回目	6cm	内	急	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/En66r_-9Mf0
2回目	6cm	内	急	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/4hqlyWkeyok
3回目	6cm	内	急	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/BrDfpixm0gs

回数	深さ	轍内外	斜面	結果	詳細	試験動画
1回目	7cm	内	急	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/XVxMufUnsf4
2回目	7cm	内	急	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/No3w64gGWzk
3回目	7cm	内	急	成功	轍を越えられた。	https://youtu.be/R93yA2NOUcM

動画から確認できるように、ローバが轍を走行し、走行したことが確認できた。

結論

ローバがスタックしないための走破性があることを確認できた。