

## ARLISS 大会報告・技術詳細報告書

提出日：2019年 10月 15日

文責：柴田 優

### ● チーム情報

CanSat チーム名	東京理科大学 B-TUS
CanSat チーム 代表者	柴田 優
UNISEC 団体名	東京理科大学 木村研究室
UNISEC 団体 学生代表	小澤 匠
責任教員	木村 真一
CanSat クラス	Open Class

### ● メンバー

役割	名前 (学年)
PM	柴田 優 (B4)
構体班	中山 宙 (B4)
構体班	木下 悠介 (B4)
構体班	倉本 文弥 (B4)
C&DH 班	本橋 優俊 (B4)
C&DH 班	荒井 駿介 (B4)
C&DH 班	木下 英明 (B4)
回路班	帰山 拓人 (B4)
回路班	澤口 仁彦 (B4)
回路班	木村 寛登 (B4)

表の書式変更

### ● CanSat の製作目的・大会参加理由

木村研究室では、宇宙システムとロボットを主な対象にして、システム技術・自律制御技術などに取り組んでいる。その研究をするにあたり、特に自律制御技術の工程の一環を学ぶべく CanSat を用いて各班の技術力向上、マネジメント技術を学ぶため参加した。

# 目次

第1章	ミッションについて	4
1.	ミッションの意義と目的	4
2.	ミッションシーケンス	4
第2章	サクセスクラITERIA	6
第3章	要求項目の設定（各チームごとに項目を追加してください）	7
1.	システム要求（安全確保のために満たすべき要求）	7
2.	ミッション要求（ミッションを実現するためのシステム要求）	7
第4章	システム仕様	9
1.	CanSat 設計図（CAD 図面や回路レイアウト図や写真など、公開可能であれば図面をここに示し、データも添付をお願いします。）	9
2.	CanSat 外観/質量/サイズ	10
3.	CanSat 内観・機構/電力	10
4.	使用部品	12
➤	電子系	エラー! ブックマークが定義されていません。
➤	動力系	エラー! ブックマークが定義されていません。
➤	構造系	エラー! ブックマークが定義されていません。
5.	製作時に使用した機材・サービス	13
6.	プログラム・アルゴリズム	13
7.	会計	18
第5章	試験項目設定（項目別試験、結合試験、EndtoEnd 試験）	19
第6章	実施試験内容	20
1.	質量試験	エラー! ブックマークが定義されていません。
➤	目的	エラー! ブックマークが定義されていません。
➤	試験/解析内容	エラー! ブックマークが定義されていません。
➤	結果	エラー! ブックマークが定義されていません。
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）	41
1.	チーム内・審査会等	41
2.	各担当（ハード・ソフト・全体などの進行状況・予定を記入）	41
第8章	大会結果	42
1.	能代宇宙イベント	42
➤	目的	42
➤	結果	42
➤	取得データ	42
➤	故障原因解析・解決手段等	44
2.	ARLISS（上記能代と同様に記載してください）	46
➤	目的	46
➤	結果	46
➤	取得データ	46

> 故障原因解析・解決手段等 .....	エラー! ブックマークが定義されていません。
第9章  まとめ .....	53
1. 工夫・努力した点 .....	エラー! ブックマークが定義されていません。
2. 良かった点・課題点 .....	エラー! ブックマークが定義されていません。
3. チームのマネジメント等、プロジェクト全体でのよかった点、反省点 .....	エラー! ブックマークが定義されていません。

## 第1章 ミッションについて

### 1. ミッションの意義と目的

ランバック内容: 0mゴールの達成。

ランバック意義: 目標地点に正確に向かい、到達するため我々のチームでは落下時の衝撃緩和のためのパラシュート形状、スタック回避のためのタイヤの形状の2点に重点を置き、それらを工夫し0mゴールを目指す機体を作成した。

ミッション内容: ローバーによる画像の長距離伝送。

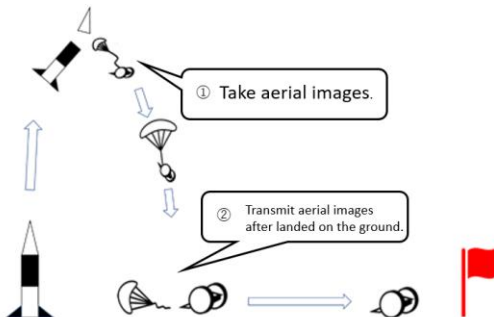
ミッション意義: 地球上での災害時(原発事故、自然災害など)に、人間の目視で現場の状況把握が困難な場合、人命を危険にさらさないためにはロボットが災害現場におもむき、撮影した画像を安全な場所にいる人間に送信する必要がある。今回は Cansat サイズの小型ローバーでその実現可能性の検証を行う。さらに Arliss での高高度からの降下を考慮し、上空と地上の画像を伝送することで、多角的な状況把握を実証する。

ミドルサクセス: 人間が被災者の性別、人物などを識別できる限界の視程である 500m の通信

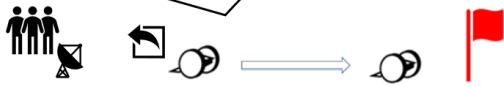
フルサクセス: 人間が被災者の存在、人数などを把握できる限界の視程である 1km の通信

アドバンス: 無線モジュールの通信限界距離と設定した 3km とした。

### 2. ミッションシーケンス



③ It'll take and send images every 3min.  
In parallel with this, we do 0m GOAL.



空中で撮影した画像を地上に着陸後送信し、以後3分に一度画像を撮影、送信を繰り返す。

## 第2章 サクセスクライテリア

達成率(%)	ランバック	ミッション
Minimum success(60%)	パラシュート展開	地上または空中での画像を撮影、保存
Middle success(80%)	パラシュートに絡まらず走行	ローバーが地上の任意の地点で撮影した写真をその地点から地上局に伝送した距離のうちの一つ、またはローバーが上空で撮影した写真を地上に降りた地点から地上局に伝送した距離のいずれかが500m
Full success(100%)	ゴール半径1km以内到達	ローバーが地上の任意の地点で撮影した写真をその地点から地上局に伝送した距離のうちの一つ、またはローバーが上空で撮影した写真を地上に降りた地点から地上局に伝送した距離のいずれかが1km
Advanced Success(120%)	0mゴール	ローバーが地上の任意の地点で撮影した写真をその地点から地上局に伝送した距離のうちの一つ、またはローバーが上空で撮影した写真を地上に降りた地点から地上局に伝送した距離のいずれかが3km

### 第3章 要求項目の設定（各チームごとに項目を追加してください）

#### 1. システム要求（安全確保のために満たすべき要求）

要求番号	自己審査項目（ARLISS 打ち上げ安全基準）
M1	<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
M2	<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。）
M3	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
M4	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
M5	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
M6	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
M7	（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
M8	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）
M9	周波数変更試験
M10	ミッション時に人間が介入しない自律制御を実施することが確認できている（根拠の項に <a href="#">End-to-end 試験</a> の結果を示すこと）
M11	ミッション後、規定された制御履歴レポートを運営者へ提出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）
M12	ゴール検知が行えるか否か確認できている
M13	スタック回避処理が確認できる

表の書式変更

#### 2. ミッション要求（ミッションを実現するためのシステム要求）

要求 番号	自己審査項目（ <u>ミッション実現要求項目</u> ）
S1	画像の保存が確認できる。
S2	ミッション完遂に <u>十分な電力量</u> が確保できている ことを試験で確認できている
S3	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
S4	<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
S5	<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
S6	画像の伝送が確認できる

表の書式変更



## 第4章 システム仕様

### 1. CanSat 設計図

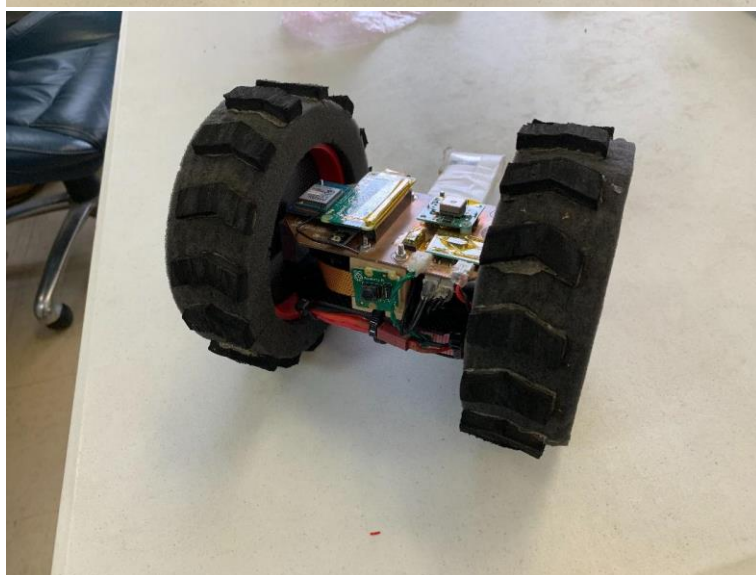


Fig. 1 機体外観（前面および背面）

表の書式変更

## 2. CanSat 外観/質量/サイズ

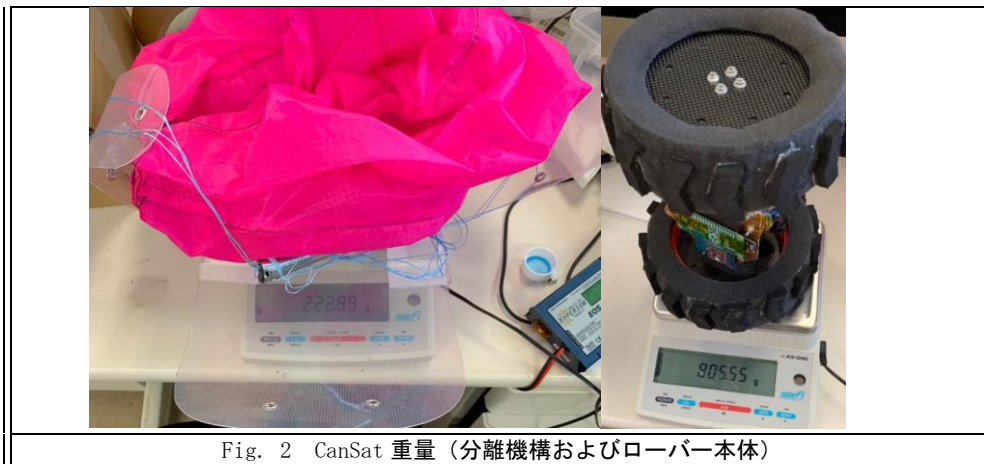


Fig. 2 CanSat 重量 (分離機構およびローバー本体)

全体として 1028.44g となっている。

収納方法としては、奥からパラシュート、ロッド、分離機構を搭載したローバーの順で収納している。

## 3. CanSat 内観・機構/電力

各センサ、マイコン、モーターとの関係は以下の通りになっている。

ロケット放出判定のために照度センサを 2 つ用いることで、より放出判定を高速に行えるようにした。また照度センサが反応しなかった場合に備え気圧センサも用いることにした。パラシュート分離のために溶断回路を用い、気圧が 5 秒間変化しない場合に作動するようにした。

ゴール到達のために無線モジュール、カメラ(ミッションとゴール認識のため)、9 軸センサ、モーター、モーターの回転数を制御するモータードライバー、SD カード(ミッション達成のため)を用いた。

以上の関係をもとにモーターとタイヤを接続し、スタビライザーを取り付けることで機構全体の構造とした。

下に構体の各部分の特徴を述べた。

### タイヤ

- ・半径が大きい伸縮素材を用いることでタイヤの最大直径 16.5cm を実現した。
- ・ラグ形状にすることでローバーの進行方向に大きな推進力を得られるようにした。

表の書式変更

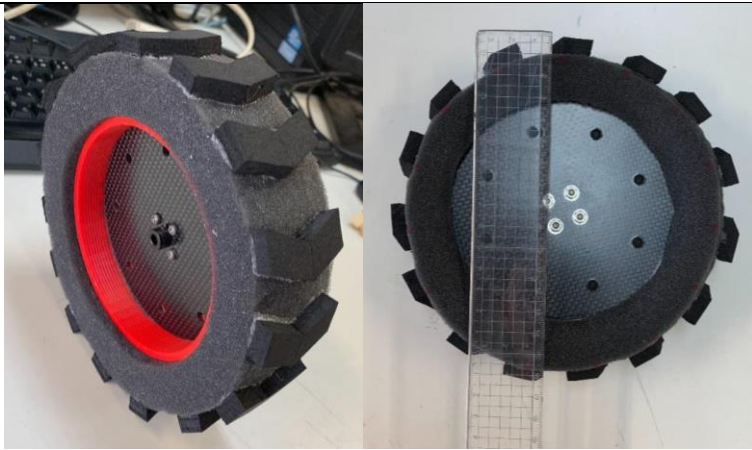


Fig. 3 タイヤ形状（全体および直径）

#### スタビライザー

- ・先端部分を摩擦が少なくなるよう丸みを帯びた形状にした。
- ・メジャーを採用することで、弾性の性質と変形のしやすさを容易にした。



Fig. 4 スタビライザー

#### 【電力】

表の書式変更

表の書式変更

表の書式変更



Fig. 5 バッテリー

電力に関しては、モーターの連続稼働時間が57分で左図のバッテリー(モーター専用)の容量がなくなった。

#### 4. 使用部品

##### <<回路系>>

マイコン	Raspberry Pi Zero WH	<a href="https://www.switch-science.com/items/detail/1814">https://www.switch-science.com/items/detail/1814</a>	1	0	1	3	5	1814
カメラモジュール V 2	913-2954	<a href="https://akizukidenshi.com/">https://akizukidenshi.com/</a>	1	0	1	0	2	4300
カメラケーブル	RPH-A-003	<a href="https://www.switch-science.com/items/detail/756">https://www.switch-science.com/items/detail/756</a>	1	0	1	1	3	756
XHコネクタ 2P ポスト	日本圧着端子製造	S2B-XH-ALFX(SN)	0	15	15	15	45	10
XHコネクタ 4P ポスト	日本圧着端子製造	S4B-XH-ALFX(SN)	0	1	1	5	7	12
XHコネクタ 5P ポスト	日本圧着端子製造	S5B-XH-ALFX(SN)	0	2	2	5	9	15
XHコネクタ 2P ハウジング	日本圧着端子製造	XHP-2	0	15	15	15	45	5
XHコネクタ 4P ハウジング	日本圧着端子製造	XHP-4	0	1	1	5	7	5
XHコネクタ 5P ハウジング	日本圧着端子製造	XHP-5	0	2	2	5	9	10
XHコネクタ ハウジング用コンタクト	日本圧着端子製造	SH-001T-P0.6	0	1	0	1	2	200
2.54mm ピンヘッダ 1×40 (4)	PHH-1x40SG	<a href="http://akizukidenshi.com/">http://akizukidenshi.com/</a>	0	3	3	2	8	35
2.54mm 分割ロングピンソケット 1	FHU-1x42SG	<a href="http://akizukidenshi.com/">http://akizukidenshi.com/</a>	0	3	3	2	8	80
2.54 ピンソケット 2×20	Usecomm Electronics Ltd.	<a href="https://akizukidenshi.com/">https://akizukidenshi.com/</a>	0	1	1	1	3	80
GPSモジュール	株式会社秋月電子通商	AE-GV5FDMAXB	1	0	1	1	3	2100
無線モジュール(送信用)	インタープラン株式会社	IM920C	1	0	0	0	1	3590
TM920c用交換アダプタ	インタープラン株式会社	IM920c-ADP	1	0	1	1	3	1500
無線モジュール(受信用)	インタープラン株式会社	IM920XS	1	0	0	1	2	6695
TM920用 USBインターフェース	インタープラン株式会社	IM915-USB-RX	1	0	0	1	2	2160
DCDCコンバータ5V	TPS91230A昇圧型DC-DCコンバータモジュール	<a href="https://strawberry-linux.com/">https://strawberry-linux.com/</a>	1	1	1	1	4	972
9軸センサ	株式会社秋月電子通商	AE-BMx05S	1	0	1	1	3	1280
バッテリー (回路用)	STL	LI-3300SP	1	1	1	1	4	5540
バッテリー (モーター用)	lyson	X6	1	1	1	1	4	1730
モータドライバ	株式会社秋月電子通商	AE-TB6612	1	0	1	3	5	350
照度センサ・モジュール	6 TSL2561	<a href="https://strawberry-linux.com/">https://strawberry-linux.com/</a>	2	0	2	2	6	648
電圧センサモジュール	株式会社秋月電子通商	AE-BME280	1	0	1	1	3	1080
ニクロム線	八幡むじニクロム線 0.5×5	<a href="https://www.yodobashi.com/">https://www.yodobashi.com/</a>	1	0	0	0	1	216
MOSFET	株式会社東芝セミコンダクター社(TOSHIBA)	Tk40A06N1	1	1	1	1	4	60
両面銅箔基板 1.6mm×200mm×			0	1	0	1	2	4200
バッテリーコネクタ	フルトラプラグ(→JST変換コード(メタイプ)) /63A1A	<a href="https://www.kkhobby.com/">https://www.kkhobby.com/</a>	0	2	2	2	6	106
バランス充電ケーブル	SONONIA	JST XH バランスボード2S-6S	1	0	0	1	2	560
プラスチックケース 黒 TB-32-B		<a href="http://akizukidenshi.com/">http://akizukidenshi.com/</a>	1	0	0	1	0	290
microSDカード	Sandisk	SDSQUAR-082G-GN9AMN	0	0	1	0	1	540
セメント抵抗 5Ω 5W	FAITHFUL LNK INDUSTRIAL CORP.	S0P5W05E	1	1	1	1	1	30
R C Yコネクタ リセプタクルハウジング	日本圧着端子製造	SYR-02T	1	9	10			15
R C Y / S Mコネクタ ピンコネクタ	日本圧着端子製造	SYM-001T-F0.6	1	2	3			45
分割ロングピンソケット (細ピン用)		FHU-1x40SGN5-B	1					80
チップN c h M O S F E T I R L M		IRLML6344TRPBFTR	1					240
チップ抵抗 1kΩ								50
チップコンデンサ 0.1μF								150
チップLED (白)								100
チップLED (赤)								150
熱収縮チューブ 6mm								50
熱収縮チューブ 10mm								60
							合計	41399

##### <<構体系>>

部品名	価格(税込み)	EM用	EM用	予備	送料	送料	送料	メーカー	送料備考	製造
CFRP (CFRP)	2090	1	0	0	1	0	13500	アマゾン	ABCビー	CFRP 2 0x200x300mm
高性能両面テープ	788	1	0	0	1	0	788	アマゾン	寺岡製作所	No.7811
太結 (100% ダイニマ 超高強度PE)	1590	1	0	0	1	0	1590	アマゾン	EMMAKOTES	2000円以上で無料 155kg 31M
生地 (リップストップ)	1490	1	1	1	1	0	2980	アマゾン	EMMAKOTES	2000円以上で無料
織物 (100% 超高分子量PE)	1090	1	0	0	1	0	1090	アマゾン	EMMAKOTES	2000円以上で無料 45kg 31M
樹脂	1990	1	0	0	1	0	1990	アマゾン		
M3x10 わじ(アルミニウム)	4	8	8	8	24	0	216	ミスミ	SUNCO	CSPPN-AL-M3-10
シャフトホルダー-ブラケット型スタンダードタイプ	1290	2	2	2	6	0	7740	ミスミ	ミスミ	BTHR6-MB
回転軸 ストレートタイプ	360	2	2	2	6	0	2160	ミスミ	ミスミ	SFHR6-50
ベアリングホルダセット ボトムマウント	1570	2	2	2	6	0	9420	ミスミ	ミスミ	BGBKA605ZZ-15
M4x8 わじ(アルミニウム)	4	4	4	4	12	0	324	ミスミ	SUNCO	CSPPN-AL-M4-8
軸スベリング	350	1	1	1	3	0	710	モノタロウ	光	KSNR-S10 10x300x300
M3x20 わじ(アルミニウム)	8	8	8	8	24	0	312	ミスミ	SUNCO	CSPPN-AL-M3-20
M3x15 わじ(アルミニウム)	5	2	2	2	6	0	264	ミスミ	SUNCO	M3x15mm 金ねじ CSPPN-AL-M3-15
M3x55 わじ(ステンレス)	21	2	2	2	6	0	0	ミスミ	SUNCO	CSPPN-SUS-M3-55
M3x55 わじ(ステンレス)	21	1	1	1	3	0	410	ミスミ	SUNCO	CSPPN-SUS-M3-55
径 3.2mm アルミ	879	1	1	1	3	0	1758	ミスミ	摩形針番	いくらでも無料 AAW-0305-05 50個入り
径 4.2mm アルミ	879	4	4	4	12	0	879	ミスミ	摩形針番	いくらでも無料 AAW-0405-05 50個入り
径 3mm アルミ	5	21	21	22	64	0	704	ミスミ	SUNCO	いくらでも無料 HNT1-AL-M3
径 4mm アルミ	5	4	4	4	12	0	288	ミスミ	SUNCO	いくらでも無料 HNT1-AL-M4
1.5mm厚上げ台	389	1	0	0	1	0	420	モノタロウ	モノタロウ	アルミ平板 1.5x100x300
赤ワレタンスポンジ	1490	1	0	0	2	0	2980	モノタロウ	WAKI	PUF-09 50x400x400
接着剤 (ウレタンと樹脂)	539	1	0	0	1	0	539	モノタロウ	セメダイン	CA-16S
接着剤 (ウレタンとCFRP)	539	1	0	0	1	0	539	モノタロウ	セメダイン	CA16S
PPクラフトシート	1036	1	1	1	3	0	3108	モノタロウ	アクリルサンデー	PS-10 L 0.75
マジック	108	1	0	0	1	0	108	モノタロウ	モノタロウ	2H46W
UVカット透明カーフィルム	906	1	0	0	1	0	906	モノタロウ	エーワン	3500円以上で無料 3504T
ケーブルタイ(樹脂タイプ)	463	1	0	0	1	0	463	モノタロウ	モノタロウ	200-BK
平ゴム 穴ベロソケットタッチ	162	1	2	2	270	0	694	東洋	SOIRA	30mm x 1m
キャモーター&固定台	1512	2	2	4	8	972	13068	ロボットショップ	ダイセン電子工業	9A2500R0-58181
					12		79480			
							116157	アマゾン	ミスミ	モノタロウ
								30082	24475	9773

### 5. 製作時に使用した機材・サービス

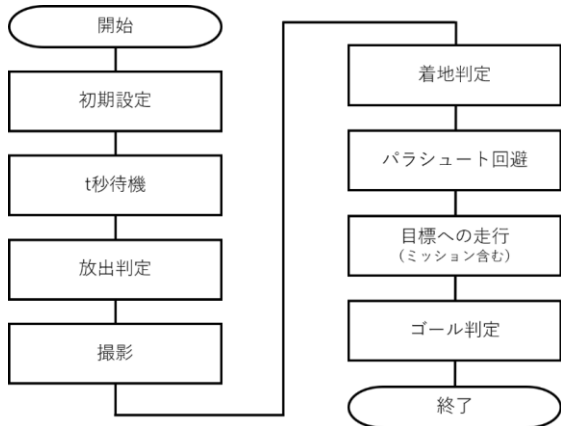
分類	名称・型番	入手先・参考情報等	備考
3Dプリンタ			

※3DプリンタやCNCなどの近年発達の著しい機材や外部サービス、特殊な機材を使用した場合は記入してください。一般的な工具類は記入不要です。

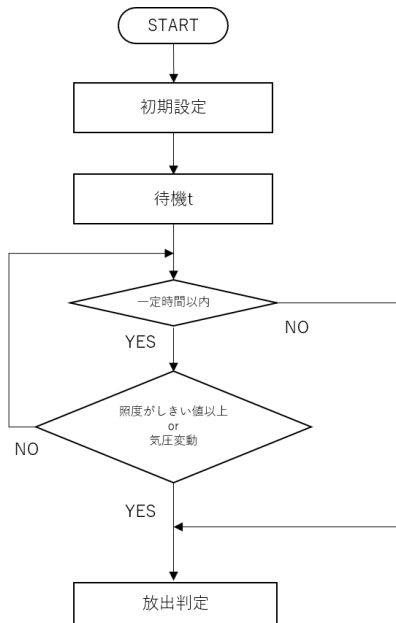
### 6. プログラム・アルゴリズム

言語: Open CV:

・全体のフローチャート



・開始～放出判定



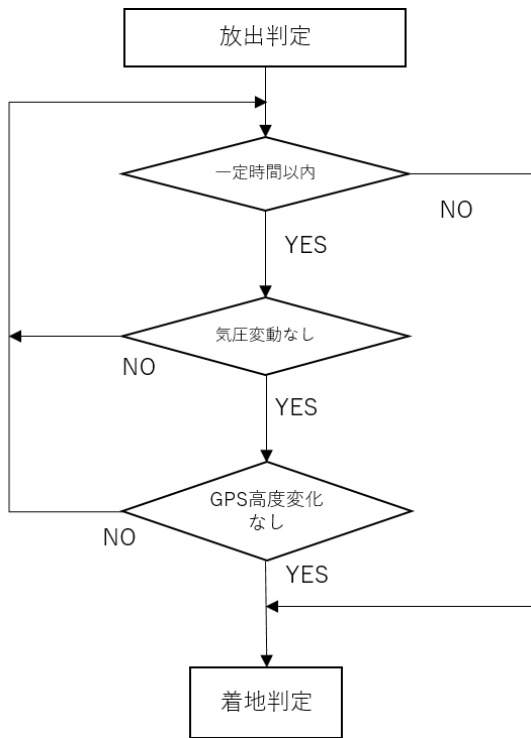
・放出判定後～着地判定

(放出判定前)

ロケットで飛ぶまでの誤判定防止のためセンサの待機時間をt秒で設定した。

(放出判定)

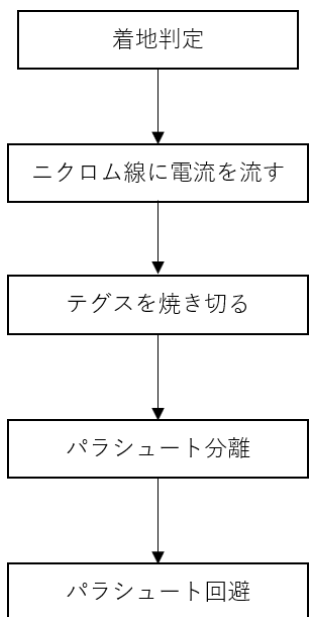
放出判定は照度センサと気圧センサを用い、1秒ごとにそれらの値を取得。照度が閾値をある回数連続で超えた場合、または気圧上昇が閾値をある回数超えた場合に放出と判定。



**(着地判定)**

着地判定は気圧センサとGPS高度を用いる。  
 3秒ごとに値を取得し、気圧変動が連続で閾値以内に収まっているかつ、GPS高度変動が連続で閾値以内に収まっている時に着地したとみなす。

・着地判定後～分離



**(パラシュート分離)**

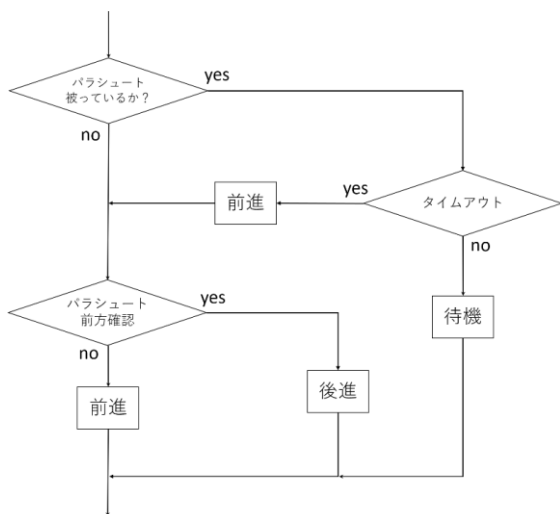
溶断回路上のニクロム線に一定時間電流を流すことで、テグスを焼き切り、パラシュートとローバーを分離する。

**(パラシュート回避)**

テグス溶解後、照度センサを用いてローバーにパラシュートがかぶっているか半判定しかぶっていた場合、一定時間待機し風でパラシュートが移動するのを待つ。

その後、カメラを用いてローバー前方にパラシュートがあるかを半判定し、前方に存在した場合、後進、前方に存在しなかった場合、前進を行い安全圏への脱出を試みる。

・パラシュート回避



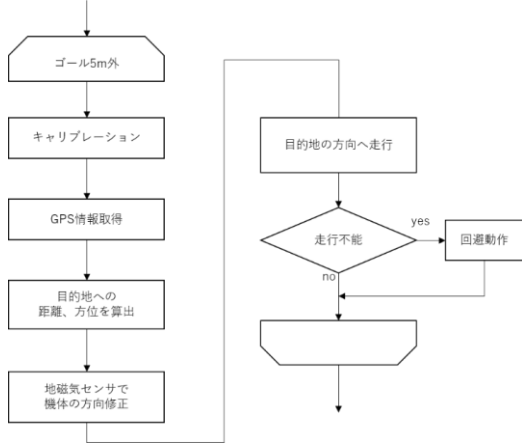
**(パラシュート回避)**

分離後、パラシュートがかぶっているかどうかを照度センサで半判定する。かぶっている場合、しばらく待機し風でパラシュートが移動するのを待つ。

その後、パラシュートが前方にあるかどうかを確認し、前方にある場合は後進、前方にない場合は前進する。

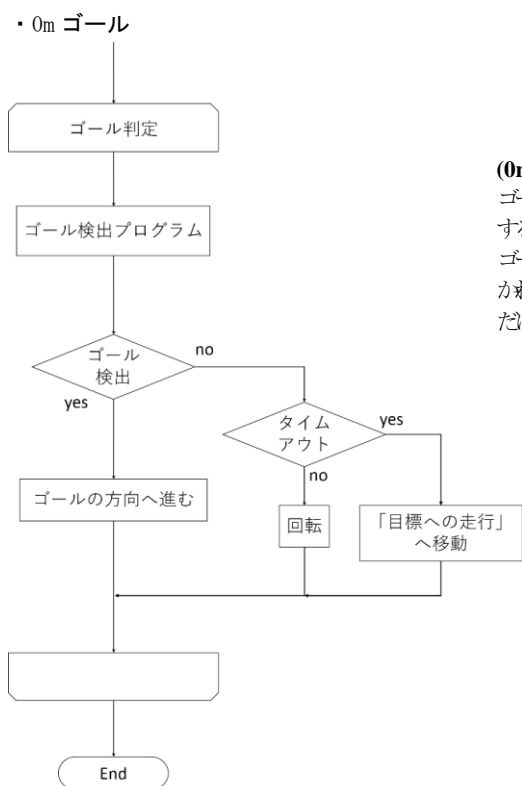


・パラシュート回避後～ゴール付近への走行



(目標への走行)

ゴールから5m以上離れている場合は、GPSを用いてゴールへ走行する。  
途中、段差などにスタックし走行不能となった場合は回避動作を行う。



**(0m ゴール)**

ゴールから5m以内に来た場合は、ゴール判定プログラムへ移行する。  
 ゴール判定プログラムでは、まずゴールを検出し、ゴールが見つければゴールの方向へ移動する。ゴールが見つからなければ少しだけ回転し、再度ゴール検出を行う。

**7. 会計**

回路で使用した金額: 120,549 円

構体で使用した金額: 88,893 円

合計: 209,442 円

## 第5章 試験項目設定（項目別試験、結合試験、EndtoEnd 試験）

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）	実施予定日
V1	質量試験	M1	7/26
V2	キャリア収納試験	M1	7/26
V3	長距離通信試験	M2	8/22
V4	パラシュート投下試験	M3	7/21
V5	静荷重試験	M4	8/22
V6	振動試験	M5	7/25
V7	打ち上げ・放出衝撃試験	M6	7/25
V8	着地衝撃試験	M7	7/28
V9	通信機電源 ON/OFF 試験	M8	9/2
V10	通信周波数変更試験	M9	8/21
V11	制御走行試験	M10	7/28
V12	制御履歴レポート作成試験	M11	7/28
V13	電力試験	S2	8/22
V14	ゴール検知試験	M12	7/28
V15	スタック回避試験	M13	8/26
V16	End-to-end 試験	M10, S5	7/28
V17	画像保存及び画像送信試験	S1, S6	8/15

表の書式変更

## 第6章 実施試験内容

### 1. 質量試験

- 目的  
全体重量が Open Class の重量制限である 1050g 以下であることを確認する。
- 試験/解析内容  
電子秤を用いて系の全質量を確認する。
- 結果  
重量に関して、以下の写真 2 枚の電子秤に示されている値を合計することで、全質量とした。



(分離機構及びパラシュート) + (機体) = 222.89[g] + 805.55[g] = 1028.44[g]  
以上のことから、レギュレーションの範囲内に収まっているといえる。  
なおマージンは  $1050[g] - 1028.44[g] = 21.56[g]$  となっている。

### 2. キャリア収納試験

- 目的

キャリアに収納できることを確認する。

- 試験/解析内容  
機体、減速機構、分離機構を合わせてキャリア(直径 146mm 以下、高さ 240mm 以下)に収納し確認する。

- 結果  
以下にキャリア収納時の写真とその時の全機構の全長、高さを示す。

全長 [mm]	140
高さ [mm]	240

表の書式変更



以上の写真よりレギュレーションを満たしていることを示す。

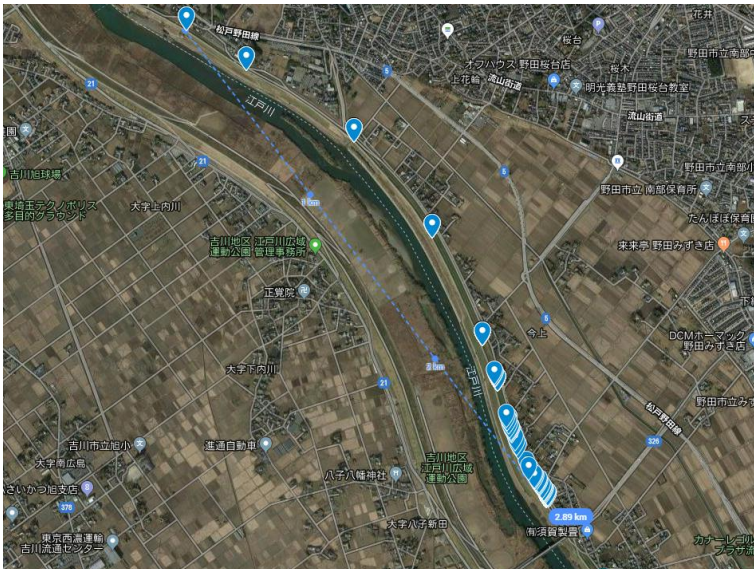
### 3. 長距離通信試験

- 目的  
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ことを確認する。
- 試験/解析内容  
実際にローバーに搭載する通信モジュール IM920 を用いて、遮蔽物の少ない江戸川沿いにおいて通信距離を確認する。

ローバー（送信側）の GPS 座標を一定間隔で送信し、受信側で受信した GPS 座標ログにより通信距離を算出した。

□ 結果

通信が可能であった距離の画像を示す。（右下の点を受信局とし、通信が成立した地点をピンで打ったもの）



今回の試験での最長通信距離は 2.88km であった。

ローバーが受信側に近づくにつれ安定した通信が可能であることがわかるが、長距離においても頻度は落ちるもののローバーの位置情報を受信することができた。今後はより広範囲での通信を可能にするため、受信アンテナの改良を図るが、現在の陣容においても ARLISS でのロスト対策に有効であることが示された。以下に IM920 の使用をまとめる。

920MHz無線モジュール (IM920)	
製品画像	
サンプル価格 (税別・送料別) ※1	¥3,700
周波数	Sub-Giga、920MHz帯 (920.6~923.4MHz、15チャンネル)
送信出力	10mW/1mW/0.1mW (コマンドで設定)
受信感度	約-112dBm (長距離通信モード時)
空間データレート	高速モード：50kbps、長距離通信モード：1.25kbps
内蔵動作モード	データモード (スリープ機能、間欠受信対応) 接点入力モード (最大16接点まで、アンサーバックにも対応) 接点出力モード (ブッシュ動作、ホールド動作) 4ch AD入力モード (データモードで受信)
動作電圧	2.0~3.6V (標準動作電圧3.3V)
消費電流	送信時 10mW時：40mA typ. 1mW時：30mA typ. 0.1mW時：26mA typ. 受信時 27mA typ. スリープ時 5µA typ.
アンテナ	ワイヤアンテナ
サイズ	30×40×5mm (アンテナ含まず、基板)
動作温度範囲	-20~80℃ (結露なきこと)
見通し通信距離※2	約400m (高速モード時) 約7km (長距離モード時) 各10mW出力時
通信方式	単信

参考文献： インタープランホームページ

<https://www.interplan.co.jp/solution/wireless/im920/im920.php>

#### 4. 落下試験

□ 目的

地表近くにおいて機体の破損が生じない速度で落下するのを防ぐための減速機構を有し、その性能を確認する。

□ 試験/解析内容

25m 程度の建物の上からローバーにパラシュートをつけ落下させ、その性能を確認する。

□ 結果

以下に試験結果動画の URL、動画から終端速度を計算したものを以下に示す。

○試験動画

試験動画(1) <https://www.youtube.com/watch?v=DGnyKwbzaN4>

試験動画(2) <https://www.youtube.com/watch?v=UnJxEoyqHKw>

#### ○パラシュート終端速度

	落下時間(sec)	高さ(cm)	終端速度(m/s)
動画(1)	0.887	480	5.411
動画(2)	0.9	480	5.333

表の書式変更

いずれの試験においても終端速度が $5\text{m/s}$ を上回っている。その理由としては、能代宇宙イベントのレギュレーションに終端速度を $5\text{m/s}$ 以上と規定されていたためである。ただ、以上の試験によりパラシュートの開傘により機体が壊れないことを確認できた。

## 5. 振動試験

### □ 目的

ロケットを打ち上げる際にかかる想定される $30\text{Hz}$ から $2000\text{Hz}$ の $15\text{G}$ ランダム振動に耐える機体か否かを確認する。

### □ 試験/解析内容

東京大学の中須賀研究室の振動試験設備を用いて、ロケットを打ち上げる際にかかる想定される $30\text{Hz}$ から $2000\text{Hz}$ の $15\text{G}$ ランダム振動を30秒間(ロケット打ち上げから機体が放出されるまでの所要時間を概算)行い、その後ローバーに搭載されている各パーツが正常に動作するか確認する。また、今回のCanSat機体はホットスタートなので、回路の電源をONにして試験を行う。

### □ 結果

振動試験の結果動画を以下に示す。

なお手順は以下のように行った。

1. マイコンのタイマーをセットし、3分後に全機能が動作するように設定。
2. 回路電源をONにしてキャリアに収納、振動装置により振動させる。
3. 振動試験終了後、キャリアから機体を取り出し、全機能が動作するまで待機。
4. 無線の操作、分離機構の分離・タイヤの駆動を確認。
5. SDカードを読み取り、センサがすべて動作したかどうかを確認する。

<https://www.youtube.com/watch?v=xHiVmaDc2c0>

以上より振動試験後各センサが正常に作動していることが分かる。

## 6. 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。

□ 試験/解析内容

レギュレーションに則したキャリアに機体を収納し、それを回転運動させることにより 10G 以上の負荷を加える。20 秒以上の回転を加えることで 10G の準静的荷重に耐えられることを証明する。

回転運動の条件について以下に示す。

半径  $r$ [m] の円運動を仮定する。

回転運動における遠心力は

$$F = ma = m \frac{v^2}{r}$$

ここで  $10G=98[m/s^2]$  以上の負荷を考える、円運動において

$$\frac{v^2}{r} \geq 98[m/s^2]$$

$$v \geq 14[m/s]$$

さらに半径  $r$ [m] より円周は  $2\pi r$  [m] なので回転数  $N$  は

$$N \geq \frac{14}{2\pi r} = \frac{7}{\pi r} [rps]$$

を満たす条件下で機体を回転させればよい。

すなわち 20 秒間で  $\frac{140}{\pi r}$  回以上回転させることで静荷重試験の要項を検証する。

□ 結果

静荷重試験の動画を以下に示す。

静荷重試験: <https://www.youtube.com/watch?v=rIJKiwpetw4>

動画内において、

0 : 00~4 : 14 は cansat をキャリアに収納するところまで。

4 : 15~6 : 59 は一回目の回転を与えるところ。

7 : 00~8 : 29 は二回目の回転を与えるところ。

8 : 30~は cansat の動作確認。

となっている。二回目の回転を与えた理由としては、一度目の回転では所望の回転を得られたことが確実ではなかった為である。以下に、二回目の回転を与えた映像についての解析内容を示す。

機体の重心をキャリアのほぼ中央に仮定すると、動画内 7 : 23 より、回転半径  $r=2.2$ [m] となる。また、先述した解析内容より、20 秒間で  $\frac{140}{\pi r}$  以上回転すればよく

$$\frac{140}{\pi r} \approx 20.3[\text{回}]$$

を超える回転を与えればよい。ここで動画内 7 : 00~8 : 29 より 20 秒間で約 25 回程度の回転を得られていることが確認できる。したがって 10G 以上の負荷を 20 秒間与えられたといえる。

また、動画内 8 : 30~より、機体が損傷なく正常に動作したといえる。

コメント [1]: 確認しました。今回は問題ありません。

## 7. 打ち上げ・放出衝撃試験

### □ 目的

ロケットから機体が放出される際の衝撃荷重 40G に耐えうる機体か否かを証明する。

### □ 試験/解析内容

東京大学の中須賀研究室に備わっている振動試験設備を用いて、キャリアに全機構を収納し 40G の衝撃を与えたのち、機体、各センサが正常に動作するか検証する。

なお手順は以下のように行った。

1. マイコンのタイマーをセットし、3 分後に全機能が動作するように設定。
2. 回路電源を ON にしてキャリアに収納、振動装置により振動させる。
3. 振動試験終了後、キャリアから機体を取り出し、全機能が動作するまで待機。
4. 無線の操作、分離機構の分離・タイヤの駆動を確認。
5. SD カードを読み取り、センサがすべて動作したかどうかを確認する。

### □ 結果

衝撃試験の結果動画、各センサのログを以下に示す。

40G 衝撃荷重試験: [https://www.youtube.com/watch?v=WdpSa\\_u03iM](https://www.youtube.com/watch?v=WdpSa_u03iM)

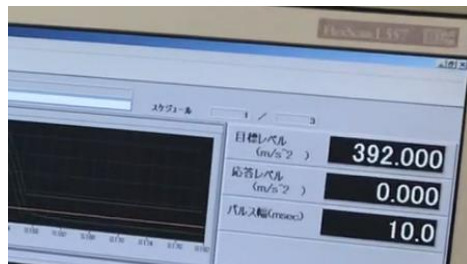
40G 衝撃試験後各センサのログ:

<https://drive.google.com/drive/folders/1xMLvtj3E9tXWsMU-6NNLodwMLPuUTWvc>

また上記のログをグラフ等にまとめたファイルを以下に示す。

<https://drive.google.com/file/d/1ZYmdplIByiEpwoEPxqfFGldlGNidsnNK/view>

動画内 0 : 00 の実験装置の画面の拡大写真を以下に示す。



写真内の一番上の値が装置における衝撃の目標値であり、 $392 \text{ m/s}^2 = 40\text{G}$  となっていることが確認できる

コメント [2]: 確認しました。問題ありません。

## 8. 着地衝撃試験

□ 目的

ローバーが地上に着地する時の衝撃に耐えうるか試験を行い、その後正常に動作するかを確認する。

□ 試験/解析内容

本稿第6章4. 落下試験における二回の落下試験の平均値より cansat の落下における終端速度は約 5.4 m/s と推測される。自由落下において重力加速度を  $9.8\text{m/s}^2$ 、地面に達する速度を  $v$  とすると、落下させる高さ  $h$  は以下の式でもとめられる。

$$h = \frac{v^2}{2 \times 9.8} [m]$$

終端速度 5.4 m/s を上式に代入すると高さ  $h$  は約 1.5 m となる。

そこで、上空 1.5 m から cansat を自由落下させ、その衝撃に耐えうるか試験を行う。その後ローバーに搭載されている各パーツが正常に動作するか確認する。

□ 結果

着地衝撃試験を含め、一連の動作 (End-to-End 試験) を以下に示す。

<https://www.youtube.com/watch?v=bIMwLAuOvsl&t=105s>

これにより、ローバーが地上着地するときの衝撃に耐えることができるといえる。

## 9. 通信機電源 ON/OFF 試験

□ 目的

ロケット打ち上げ時、ローバーに搭載されている通信機器が OFF の状態にあり、ロケット放出後に ON の状態であることを確認する。

□ 試験/解析内容

実際にキャリアへの搭載から放出、着地までの一連の流れの中で、通信機電源を ON、OFF できるかを確認する。キャリアから放出されたのちに、照度センサまたは気圧センサにより放出を検知し、無線モジュールの電源が ON になり無線伝送が始まるが、地上局側で無線を受信することで電源が ON になることを確認する。電源が入っているかどうかはローバーについてある赤色 LED でも確認することができる。

無線機の電源は、マイコンの GPIO ピンで MOSFET を制御することで ON/OFF を行う。

□ 結果

試験の様子を以下に添付する。

<https://www.youtube.com/watch?v=f40en3mOVDk>

プログラムがスタートするとプログラムが開始した旨を無線で送り無線機の電源を落としている。キャリアに収納されていることは照度センサの取得値が閾値以内に収まっていることから検知され、このとき無線モジュールの電源が落ち無線通信を行っていないことは、地上局でデータを取得していないこと、赤色 LED が消灯していることから確

認できる。またキャリアから放出された後、照度センサで放出を検知し、無線機の電源が ON となり無線通信が開始されていることが分かる。このことは地上局でデータの受信が確認できていること、赤色 LED が点灯していることから分かる。以上の実験により通信機電源がロケットに搭載されている間は OFF であり、放出されると ON となることが確認できた。

## 10. 通信周波数変更試験

- 目的
  - 他のチームが無線で使用する周波数と干渉しないよう、使用する無線機の周波数を変更できるかどうかを確認する。
- 試験/解析内容
  - ローパーに搭載した無線機から地上局の無線局へデータを送信することで試験を行った。ローパーの無線機の周波数を変更することで地上局へ通信できないことを確認したのち、地上局の無線機の周波数をローパー側の無線機と同じにすることで周波数変更が可能であることを確認する。
- 結果
  - 試験の様子を以下の動画に添付する。
  - <https://www.youtube.com/watch?v=SimfF0eQbzw&t=8s>
    - 動画の中の説明に使用した書類は搭載無線機の仕様書の通信周波数変更に関する箇所を抜粋したものであり、それを以下に示す。

#### 9) STCH

名称	無線通信チャンネル設定
機能	無線通信チャンネルを設定します。
書式	STCH 01<CR><LF>
パラメータ	チャンネル番号は10進数2桁(01~15)で入力します。 00も設定可能ですが、内部では01として扱います。 初期値は01です。
レスポンス	OK<CR><LF>
例	STCH 01 OK
備考	※正常終了時はOKを、設定できなかったときはNGを返します。 チャンネル番号と周波数の関係は表5を参照してください。 対向する本製品と同じ通信チャンネルを設定してください。 チャンネル番号06は内部信号の影響があり、安定して通信できないため使用をお薦めしません。

CH 番号	周波数	ARIB 単位チャンネル番号	CH 番号	周波数	ARIB 単位チャンネル番号
01	920.6MHz	24	09	922.2MHz	32
02	920.8MHz	25	10	922.4MHz	33
03	921.0MHz	26	11	922.6MHz	34
04	921.2MHz	27	12	922.8MHz	35
05	921.4MHz	28	13	923.0MHz	36
06	921.6MHz	29	14	923.2MHz	37
07	921.8MHz	30	15	923.4MHz	38
08	922.0MHz	31	-	-	-

表5 CH番号と周波数一覧表

#### 10) RDCH

名称	無線通信チャンネル読み出し
機能	登録されている無線通信チャンネルを読み出します。
書式	RDCH<CR><LF>
パラメータ	チャンネル番号は10進数2桁(01~15)で入力します。
レスポンス	通信チャンネル<CR><LF>
例	RDCH 01

- 動画の冒頭では通信周波数がローバー、地上局ともに同じであるため通信できるが、ローバー側の周波数を変更すると地上局側が受信できなくなる。地上局側の周波数をローバー側の周波数に合わせてと通信を行えることから、周波数変更ができていることが分かる。

コメント [3]: 確認しました。問題ありません。  
今回はとても分かりやすい動画でしたね！  
対応ありがとうございます。

## 11. 制御走行試験

- 目的  
機体が目標地点に向かって制御走行できるか試験を行う。
- 試験/解析内容  
GPS と地磁気センサを用いて、ローバーの向く角度とゴールへの角度がゼロになるようPID制御することによって、設定した目的地へ到達できるか確認する。

□ 結果

End-to-End 試験を実施することにより制御走行試験とした。  
以下に End-to-End 試験の動画を示す。

<https://www.youtube.com/watch?v=bIMwLAuOvsU&t=105s>

以上より、制御走行が成功していることが分かる。

## 12. 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し制御履歴を確認することで、ゴール到達が偶発的なものではなく、自律制御に基づいたものであることを証明する。

□ 試験/解析内容

ローバーの走行試験を行い、モーターの制御情報や、各動作のフェーズ開始と終了に関するデータ、センサのログを取得し、試験後にパソコンを用いて解析し確認する。

□ 結果

End-to-End で取得したログ、および取得したデータをグラフ等でまとめたエクセルファイルを以下に示す。

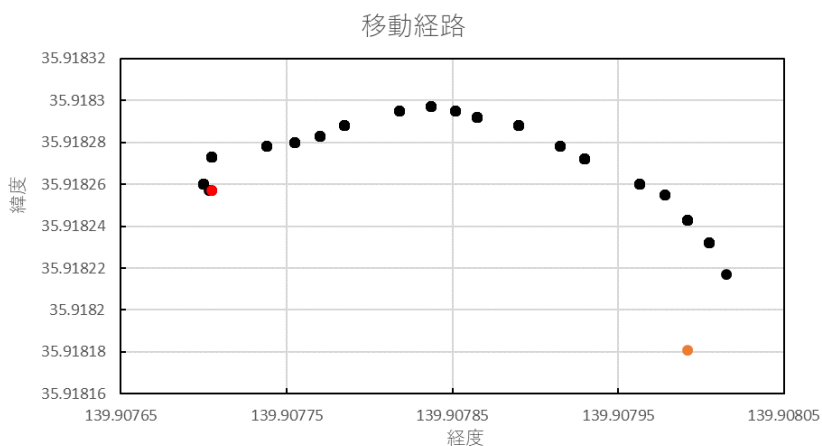
ログ：

<https://drive.google.com/open?id=1M0r2q4aXVP45IQbEak1zuTA70qWNQ8fh>

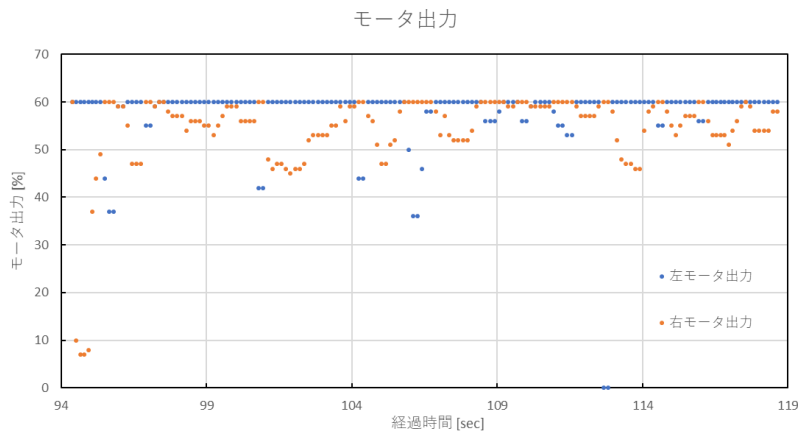
制御履歴レポート（各ログをシートに分けて）

[https://drive.google.com/open?id=1Q3qz8vjNYX7Pe\\_bQY4VA5G0T\\_CCTZgms](https://drive.google.com/open?id=1Q3qz8vjNYX7Pe_bQY4VA5G0T_CCTZgms)

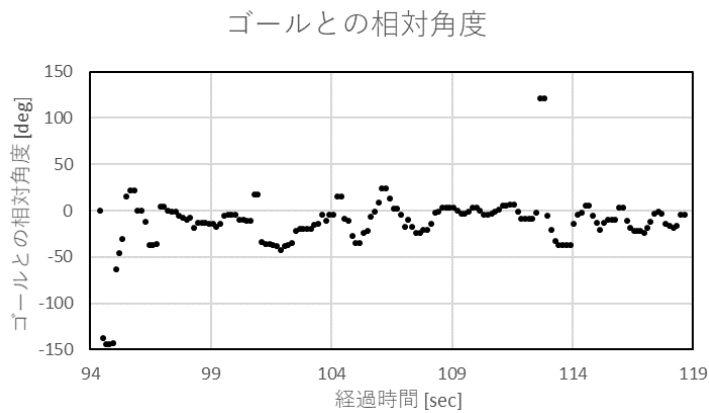
[制御履歴レポートより一部抜粋したものを以下に示す。](#)



グラフ「移動経路」よりローバーは大きく右に回りながらゴールへ近づいていることが分かる。ただし赤点が落下地点、橙点がゴール地点である。

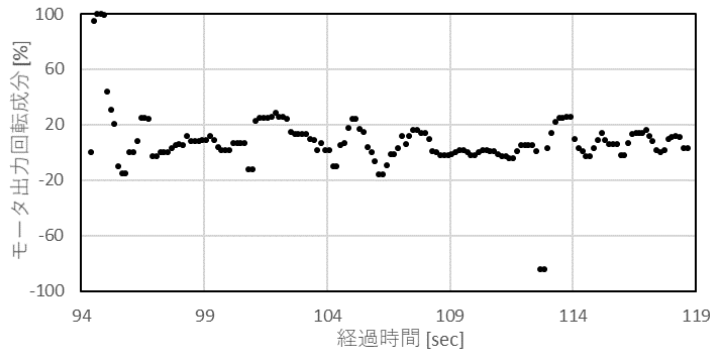


グラフ「モータ出力」より左側の出力が右側の出力より大きいことが分かる。このことはローバーが右に回りながら進んでいることを表しており、グラフ「移動経路」と合致する。



グラフ「ゴールとの相対角度」はローバーが向いている方角とゴールの方角の差をグラフにしたものであるが、相対角度がゼロに漸近していることが分かる。

モータ出力回転成分



グラフ「モータ出力回転成分」はローバーが回ろうとしている度合いを表している。グラフ「ゴールとの相対角度」と比較すれば、相対角度に応じてローバーの回転を制御していることが確認できる。

### 13. 電力試験

□ 目的

ローバーがミッション完遂に必要な十分な電力量を持ち合わせているか確認する。

□ 試験/解析内容

使用するバッテリーを用いて電圧、電流変化を測定する。また、マイコン、センサ類、無線系、カメラを同時起動させ、駆動可能時間を測定することで、ミッション完遂に必要な十分な電力量を持ち合わせているか検証する。

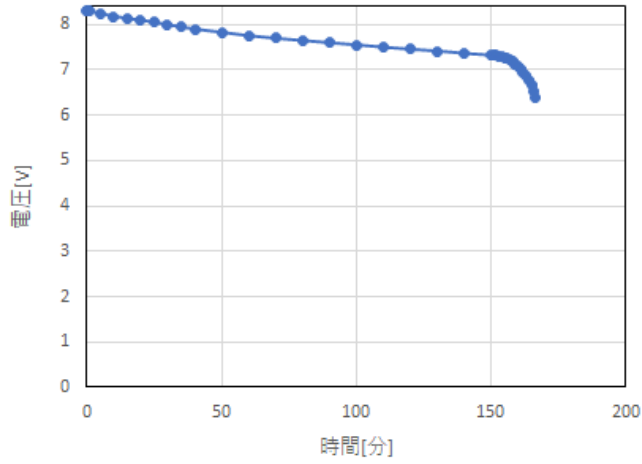
□ 結果

今回、モーター用と回路用の2つにバッテリーが分かれている。

1. モーター用バッテリーについて

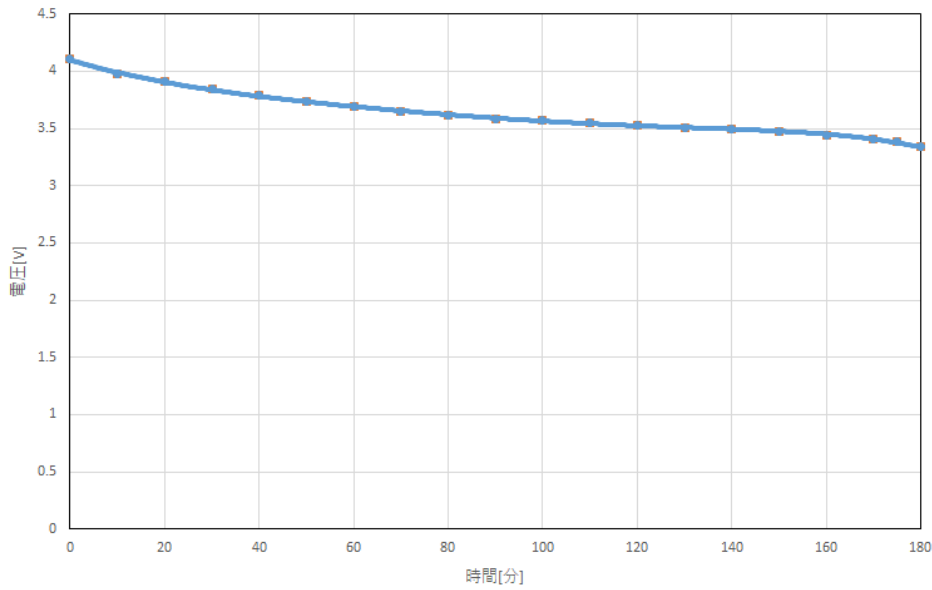
モーターに流れる電流(700mA~800mA)と近くなるように負荷としてセメント抵抗(10Ω)をつなぎ、時間ごとの電圧の変動を測定したところ、バッテリーの電圧は以下のグラフのようになった。





## 2. 回路用のバッテリーについて

起動中の回路に流れる電流を安定化電源を用いて測定し、その電流である 0.4A と近くなるように負荷としてセメント抵抗をつなぎ、時間ごとの電圧の変動を測定したところ、バッテリーの電圧は以下のグラフのようになった。



実測では、ローバーの移動速度は、6.7km/h であった。

速度測定の方法は動画のように、5.00mを通過する時間で求めた。平均 2.68 秒で通過したことから、時速 6.7km/h と求まる。

1 回目 [https://youtu.be/5mzrwkVt\\_k](https://youtu.be/5mzrwkVt_k)

2 回目 <https://youtu.be/vbcd6Vqp3yg>

3 回目 <https://youtu.be/vI03KzNI3hA>

ランバックミッション完遂のための必要走行距離を 5km と想定している。この距離を正常に動作、走行するために、動作時間の試験をする。試験方法としては、上で求めた速度でローバーを動かし、一定時間で回転方向を切り替える。結果、モータの動作時間は 5 6 分であった。これと上で求めた平均速度より、走行可能距離は 6.25km と求まり、計画した走行距離を充足できる電力量を持っていることが確かめられる。

以下の動画では、その時の映像を 16 倍速で再生したものである。

<https://youtu.be/NyYolT5rrrY>

#### 14. ゴール検知試験

##### □ 目的

ゴール検知が行えることを確認する。

##### □ 試験/解析内容

赤いコーンを ARLISS のゴールと仮定し、画像処理を用いてゴールとして検知することを確認する。

以下に試験の流れを示す。

- ・カメラより赤い物体を検出する。
- ・画像処理によりゴールがローバーに対して左右どちらにあるか算出する
- ・ゴールの位置よりモーターの出力を算出し、ゴールに向かい走行する

##### □ 結果

ゴール検知試験は End-to-End 試験と同時に行った。動画内の 2:50 以降に試験を行った。動画より、ゴールを検知し近づくことができていることが分かる。

#### 15. スタック回避試験

##### □ 目的

##### □ ~~スタックが回避できるか試験を行う。~~

モーターの PWM のデューティ比を変化させスタック回避ができるか試験を行う。さらに、その結果をもとにスタックする可能性が減少するよう走行プログラムの PWM のデューティ比を設定する。また、スタック回避のためのモーターの出力を設定する。

書式変更：見出し 3、インデント：左：3.9 mm、アウトライン番号 + レベル：1 + 番号のスタイル：行頭文字 + 整列：1.8 mm + インデント：9.2 mm

□ 試験/解析内容

轍を模擬しスタックさせ、前方に走行不能となった場合にスタック回避プログラムが有効に作用するか確認する。以下に試験の流れを示す。

砂漠においてローバーがゴールするための障害物である轍を検出し、避けて通ることはプログラム上では困難である。よって、轍にスタックしないようなローバーである必要がある。

本試験では、轍を模擬し以下に示す4つのことを試験する。

1. 轍通過

- 轍外から轍に向かい、轍の走行方向とローバーの走行方向を垂直にして走行させ、通過できるPWMのデューティ比を求める。

2. 轍脱出(スタック脱出)

- 轍の中にローバーを配置し、轍の走行方向とローバーの走行方向を垂直にして走行させ、脱出できるPWMのデューティ比を求める。

3. 空転復帰

- ローバーの片輪を空転させ、もう一方のタイヤを前後に回転させることで空転から復帰できるかどうかを試験する。

4. 山乗り越え

- 砂山を作成し、乗り越えることができるPWMのデューティ比を求める

▲ 轍の深さは、ローバーを轍が理論上乗り越えることができる段差の高さ(8 cm)程度にスタック設定した状態。



砂山の高さは車の走行により砂が盛り上がった程度を想定し、10 cm程度に設定した。

書式変更: フォント: Times New Roman

書式変更: フォント: Times New Roman

書式変更: フォント: Times New Roman

書式変更: フォント: Times New Roman

書式変更: フォント: Times New Roman



以下に試験の流れを示す。

・ローバーを特定の位置に配置する。

・モーター→PWM出力のデューティ比が低い状態で模擬轍を乗り越えられないことを確認する

→PWM出力のデューティ比を45, 50, 60, 70, 80[%]と増加させ、模擬轍目標を乗り越えられることを検証達成する PWM出力のデューティ比を求める。

## □ 結果

スタック回避試験の動画を以下のURLに示す。

1. <https://www.youtube.com/watch?v=2rrm3hbY2is> 轍通過

> <https://youtu.be/28UI1ChNliY>

2. 轍脱出 (スタック脱出)

> <https://youtu.be/Q2Id50yf1n4>

3. 基本走行はモーターが破損しにくいよう空転復帰

> <https://youtu.be/5rDGOEAsuHQ>

4. 山乗り越え

> <https://youtu.be/pLz63g1s5C8>

1. 動画より轍通過をするにはPWM出力のデューティ比を低く(40%程度)で走行している。動画より、85%以上にする必要がある。しかし、85%はモーターの定格を超えてしまうため、轍を通過するために基本走行を85%で行うことは、モーターの破損

書式変更: インデント: 左: 0 mm

書式変更: フォント: Times New Roman

書式変更: フォント: Times New Roman

書式変更: フォント: Times New Roman

書式変更: インデント: 左: 11.3 mm, 最初の行: 0 mm

書式変更: フォント: Times New Roman

書式変更: リスト段落, アウトライン番号 + レベル: 4 + 番号のスタイル: 1, 2, 3, ... + 開始: 1 + 配置: 左 + 整列: 22.2 mm + インデント: 29.6 mm

書式変更: フォント: 11 pt, フォントの色: 自動, 模様: なし

のリスクが高まるため設定することはできない。よって轍通過の対策はできない。  
つまり次の轍脱出で対策を行う。

2. 動画より轍からの脱出は PWM 出力のデューティ比が低いを 80%にする必要がある。  
轍通過の対策ができないため、スタックした場合に乗り越えられない模擬轍を、  
PWM のデューティ比を増加一時的に 80%以上にして抜け出す。その後の基本走行では、  
モーターの破損のリスクがあるため 80%では行わない。

3. 動画より、空転から復帰するためには、PWM のデューティ比を 70%以上に設定しモーターの正転、逆転を交互に繰り返す必要がある。

4. 動画より、砂山を乗り越えるためには PWM のデューティ比を 60%以上に設定する必要がある。

以上のことから、基本走行は山を乗り越えられる程度である 60%以上で走行を行う。  
また、スタックした際には、

1. モーターを 80%で回転させることで抜け出せることを実証した。

2. モーターを 70%で正転・逆転を繰り返す

という 2つの動作をプログラムに組み込む。

~~16. なお、上記の試験のみでは想定しうる危機を回避できないと判断したため、以下の追加事項を行い、以後の審査書に追記する。実施日は 8/24 を予定している。~~

~~17.~~

~~18. ・轍の乗り越え~~

~~——タイヤの径の半分ぐらいの深さ、階段状の溝~~

~~→砂山の乗り越え~~

~~——上記の URL に示した試験の後半で乗り上げた山ほどの高さ~~

~~→横転復帰~~

~~→空転復帰~~

~~19.~~16. End-to-End 試験

目的

ロケット放出から目標地点へゴールする一連の動作が正常に行われるかどうかを確認する。

試験/解析内容

大学の敷地内において、機体落下時から目標地点へゴールする一連の動作が正常に行われるかどうかの試験を行う。

結果

試験の様子を以下に添付する。

<https://www.youtube.com/watch?v=bIMwLau0vsU&t=105s>

書式変更：リスト段落、段落番号 + レベル : 1 + 番号のスタイル : 1, 2, 3, ... + 開始 : 1 + 配置 : 左 + 整列 : 12.7 mm + インデント : 19 mm

書式変更：フォント : 11 pt, フォントの色 : 自動, 模様 : なし

また、End-to-End 試験で取得したログ、および取得したデータをグラフ等でまとめたエクセルファイルを以下に示す。いずれも 12. 「制御履歴レポート作成試験」で示したものと同一である。

ログ：

<https://drive.google.com/open?id=1M0r2q4aXVP45IQbEak1zuTA70qWNQ8fh>

制御履歴レポート：

[https://drive.google.com/open?id=1Q3qz8vjNYX7Pe\\_bQY4VA5G0T\\_CCTZgms](https://drive.google.com/open?id=1Q3qz8vjNYX7Pe_bQY4VA5G0T_CCTZgms)

## 20-17. 画像保存及び画像伝送試験

### □ 目的

ミドルサクセス以上を遂行するため、画像が受信側に伝送できているか確認する。

### □ 試験/解析内容

撮影した画像を保存したのち、ローバーに搭載されている通信モジュール IM920 で伝送し、受信されたか否かをパソコンで確認する。今回は画像のようにローバーと受信局がミドルサクセスに相当する 500m 以上離れた状況で画像伝送を行った。



次にローバーが送信する画像を示す。(ローバーが撮影したもの)



□ 結果

受信局で受信した画像は以下の図に示した。



画像は各画素の RGB 情報を全画素分送信しており、画素が黒い個所は送信中にデータが欠落した箇所である。データの欠落は不可避であるため、次のような対策を用いて欠落の埋め合わせをする。

1. 複数の受信局を用意し各モジュールの受信データを補完し合う形で欠落を埋め合わせる。
2. 1. においてもデータが欠落してしまう場合、欠落した箇所の周囲の RGB 情報を統合し欠落箇所に疑似画素を挿入する。
3. 920MHz 通信に最適な八木宇田アンテナを設計作成し、運用する。

以下画像は先に示した画像に対し 2. における埋め合わせの方法をした後の画像である。



このように、本ミッションで要求される、周囲の状況を把握できるような画像を得られることが確認できた。



## 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）

### 1. チーム内・審査会等

構想開始・・・2019年4月

設計開始・・・2019年5月末

(第一回研究室内部審査会)・・・2019年5月5日

BBM(機能モデル)製作開始・・・2019年6月1日～

(第二回研究室内部審査会)・・・2019年7月8日

BBM(機能モデル)検証完了・・・2019年6月24日

EFM(実物大モデル、負荷検証)完了・・・2019年7月1日～

EFM(実物大モデル、負荷検証)完了・・・2019年8月22日～

(第三回研究室内部審査会)・・・2019年7月28日

各班との連携及び班内のやり取りはSLACKで行い、全体会議なども主にSLACKで行い、各試験後のデータの管理、会話のやり取り等データが残る状態にしておいた。

### 2. 各担当（ハード・ソフト・全体などの進行状況・予定を記入）

以下に今回のCanSatのガントチャートを添付した。

[https://docs.google.com/spreadsheets/d/10co0saU6UcNKrD2uC\\_RRc7APfXRwoyFJxwg80VHAI0/edit#gid=0](https://docs.google.com/spreadsheets/d/10co0saU6UcNKrD2uC_RRc7APfXRwoyFJxwg80VHAI0/edit#gid=0)

## 第8章 大会結果

### 1. 能代宇宙イベント

#### ➤ 目的

各班の技術力向上、マネジメント技術の機能性の確認、ARLISS に向けての End-to-End 試験。

#### ➤ 結果

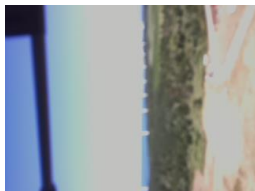
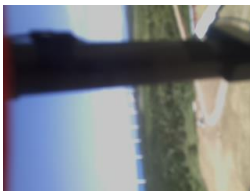
	ミニマムサクセス	フルサクセス	ドバンスサクセス
内容	下記のサクセスクライテリアに準ずる。		
投下1回目	○	×	×
投下2回目	×	×	×

#### ➤ 取得データ

ミッション結果と取得データ

サクセスクライテリア	内容	結果(1投目)
Full Success	ローバーが地上の任意の地点で撮影した写真をその地点から地上局に伝送した距離の内の一つ、またはローバーが上空で撮影した写真を地上に降りた地点から地上局に伝送した距離のいずれかが1km	×
Middle Success	10mでの画像伝送	×
Minimum Success	地上または空中の画像を撮影、保存	○

○撮影画像の一部



画像①

画像②

画像③

画像④



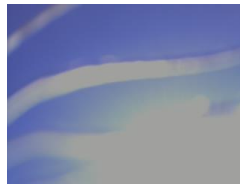
画像⑤



画像⑥



画像⑦



画像⑧



画像⑨

画像⑩

画像⑪

画像⑫

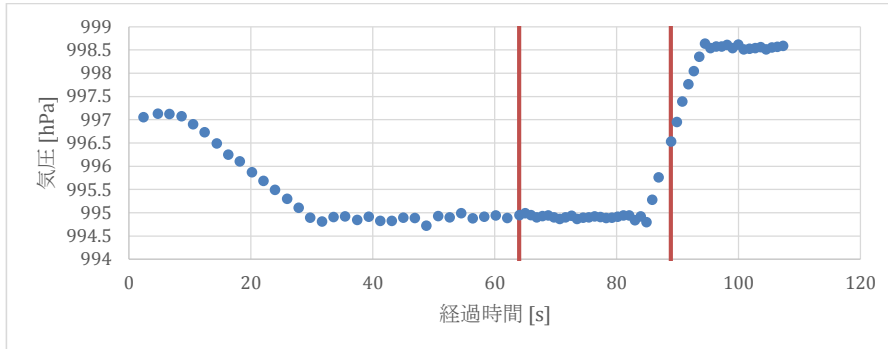
上記のようにしっかりと上空からの落下中の画像を撮影、保存をすることができた。

○ランバック結果

サクセスクライテリア	内容	結果(1投目)
Advanced Success	0m ゴール	×
Full Success	ゴール半径 10m 以内到達	△
Middle Success	パラシュートに絡まらず走行	△
Minimum Success	パラシュート展開	○

※○は達成、△は達成できて入るが改善点あり、×未達成

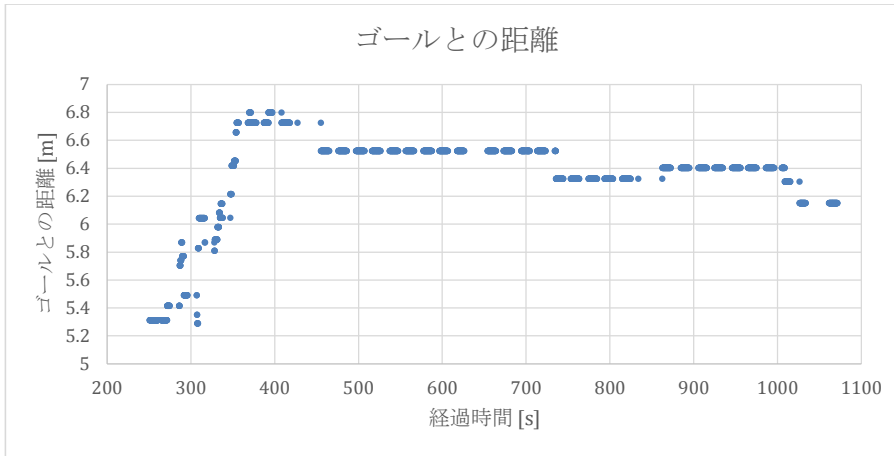
<高度変化>



※63秒までが Sleep Phase、88秒までが Release Phase、それ以降グラフが途切れるまで Landing Phase

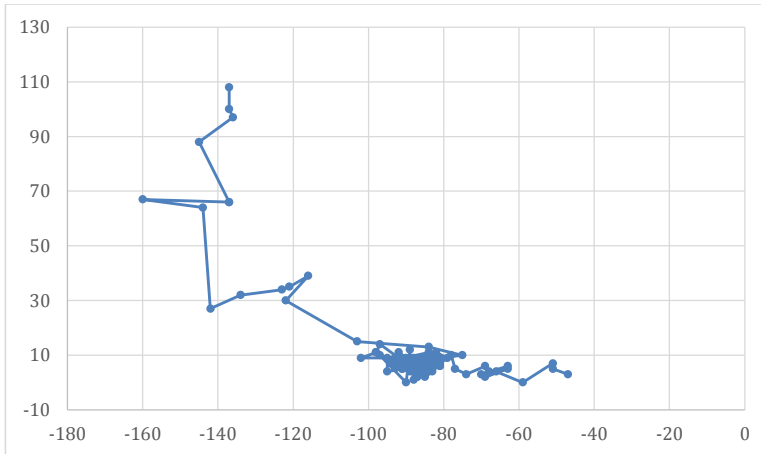
- ・正常に放出、着地判定を行えた。

<GPS ログ>



- ・キャリブレーションが正常に行われなかったため、ゴール方向へ進むことができなかった。
- ・移動中に草がモータに絡まり、モータが固定され動かなくなり、時間制限を迎えた。

<キャリブレーション>



- ・途中まで回って、止まっている。キャリブレーション中に分離機構に絡まった。

➤ 故障原因解析・解決手段等

故障箇所は見受けられなかったが、結果に対する分析を以下に示す。

ランバックに関して

○達成できた点

・着地判定までの流れは完璧に達成できている。(放出判定、パラシュート展開、着地判定、溶断まで)

- ・パラシュートもしっかり展開し、安定した落下を行うことができた。
- ・パラシュートに取り付けたロッドも問題なく展開することができ、パラシュートのキャノピーとローバーとの距離をしっかりと稼ぐことにも成功した。
- ・一時は分離機構に引っかかり走行できていなかったが、その後分離し走行を開始することができた。

#### ○問題点

- ①分離機構から正しいフェーズで分離を行い次のシーケンスに移ることができなかった。
- ②草に絡まってしまい、走行することができなくなってしまった。

#### ○対策

- ①構造として、展開しやすいようにゴムなどを取り付けることを検討中。
- ②スタックに対する対策方法を増やす  
現在のスタック回避→スタックと判定した際モータの出力を増加する  
変更後→連続して同じ場所でのスタックを判定した際、ローバーを回転させる、後ろ向き走行をするなどのいろいろな動作を行い、スタックを抜け出せるように変更する。

#### ミッションに関して

##### ○問題点

本実験ではデータ欠けのない画像を伝送するためにローバーと受信 PC 間で ACK (肯定応答) を使用した。そのため、画像伝送前のフェーズに両者の間で十分なリンクを確立するため、ローバーと受信 PC をある程度近づける必要があった。(一定時間内にリンクが確立されなかった場合、次のフェーズに移行するため)  
今回はこの段階で、ローバーと受信 PC の距離が大きくなりリンクが確立されないままタイムアウトし、次のフェーズに移行してしまった。

この方式では、以下のような問題が考えられる。

- リンクが確立できなかった場合、ミッションを達成できない
  - 再送を挟むため、多大な時間を要する
- これらの問題を鑑みて、次のような改善策を考慮した。
- 画像送信を開ループとする
  - 受信側で送信中に欠落したデータを補完する

以上は第一回目の取得データであり、第二回目のデータに関しては基地局側との通信が途切れ、分離機構分離以降のフェーズに移行しなかったため、データ取得無し。

## 2. ARLISS（上記能代と同様に記載してください）

### ➤ 目的

当初の目的である技術力、マネジメント力を生かし、我々が設定した目標を達成する。

### ➤ 結果

達成率(%)	ランバック	ミッション
Minimum success(60%)	パラシュート展開	地上または空中での画像を撮影、保存
Middle success(80%)	パラシュートに絡まらず走行	ローバーが地上の任意の地点で撮影した写真をその地点から地上局に伝送した距離のうちの一つ、またはローバーが上空で撮影した写真を地上に降りた地点から地上局に伝送した距離のいずれかが500m
Full success(100%)	ゴール半径1km以内到達	ローバーが地上の任意の地点で撮影した写真をその地点から地上局に伝送した距離のうちの一つ、またはローバーが上空で撮影した写真を地上に降りた地点から地上局に伝送した距離のいずれかが1km
Advanced Success(120%)	0mゴール	ローバーが地上の任意の地点で撮影した写真をその地点から地上局に伝送した距離のうちの一つ、またはローバーが上空で撮影した写真を地上に降りた地点から地上局に伝送した距離のいずれかが3km

第一投：ランバック、ミッション共にミニマムサクセスどまり。

第二投：ランバックは0mゴール、ミッションはミドルサクセス半分(伝送距離10m)まで成功。

### ➤ 取得データおよび故障原因解析・解決手段等

### 放出、着地判定フェーズ

放出および着地は気圧センサを用いて判定を行った。気圧が上昇したら落下、放出と見なし、その後、気圧変化が見られなくなったとき着地と見なす。図2に放出、着地判定中の気圧変化を示す。

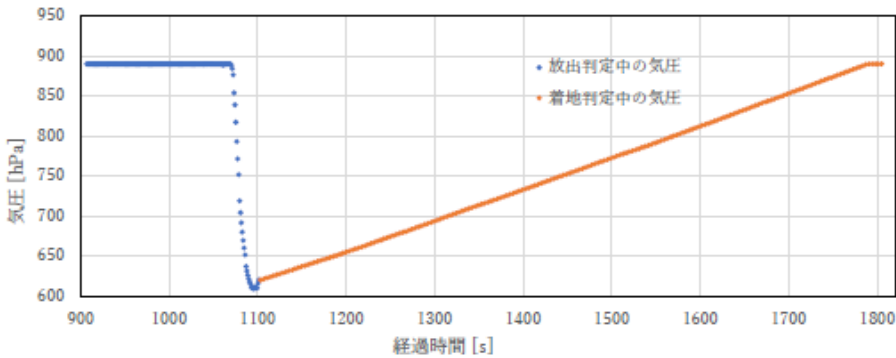


図2 放出、着地判定中の気圧変化

図2より1100秒あたりで気圧が上昇し始め、放出されていることが分かる。また1800秒あたりで気圧変化がなくなり着地していることが分かる。表1より放出判定終了後は約1103秒で着地判定フェーズに、着地判定終了後は約1808秒で溶解フェーズに移行し、次のフェーズが始まっていることから、表1、図2を比較すれば、正常に放出・着地判定を行えたことが分かる。

### パラシュート回避フェーズ

分離機構から分離後、パラシュートが付近にあり絡まる危険性があるためパラシュート回避を行った。画像処理によりパラシュートの有無を確認し、パラシュートが存在しなければ前進、存在すれば後進するように制御する。表2にパラシュート回避時のログを一部抜粋したものを、図3、4にパラシュート回避に使用した画像を示す。なおパラシュート回避は2回続けて行った。

表2 パラシュート回避のログ

経過時間	使用写真	パラシュート有無	パラシュートエリア
2134.935713	ParaAvoidance Start		
2153.023127	/home/pi/photo/photo0060.jpg	0	0
2165.425178	/home/pi/photo/photo0061.jpg	0	0
2165.428332	ParaAvoidance Finished		

※「パラシュート有無」：[1, パラシュート有り]、[0, パラシュート無し]



図3 画像/home/pi/photo/photo0060.jpg



図4 画像/home/pi/photo/photo0061.jpg

表2と図2、3を比較するとパラシュートがないことを正常に確認できたことが分かる。

#### 走行フェーズ

走行フェーズでは、ローバーが向いている角度とゴールが存在する角度の差（相対角度）がゼロになるようにモータを制御した。走行フェーズの約4244秒～約4324秒あたりを抜粋した相対角度を図5に示す。

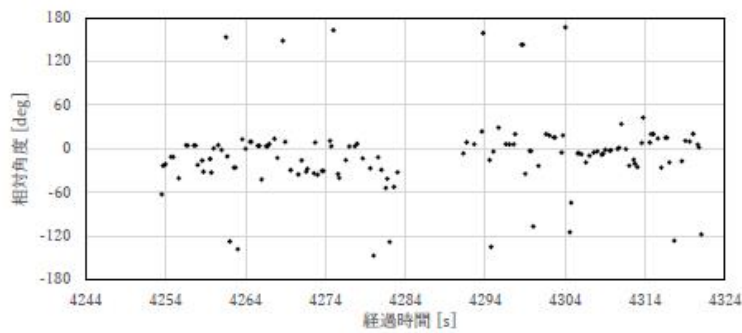


図5 ローバーが向く角度とゴールがある角度の相対角度  
(一部プロットされていない部分は、画像を撮影していた時間)

図5の相対角度を基にローバーの回転成分を求めたものを図6に示す。

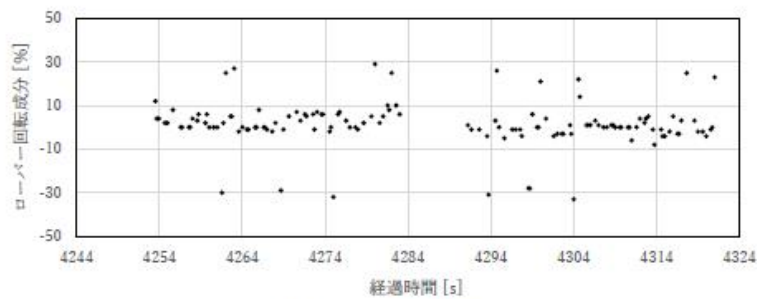


図6 ローバーの回転成分



図 5、6 を比較すると縦軸がゼロの線を境に上下対象となっており、相対角度がゼロになるようにローバーを回転させていたことが分かる。ローバーの前進成分（左モータ：70%、右モータ：70%）に図 6 に示すような回転成分を加えることで図 7 に示すようなモータへの制御入力を得られる。

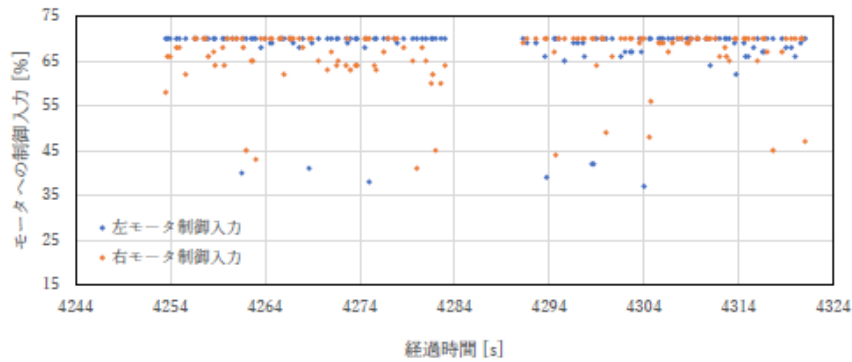


図 7 モータへの制御入力

上述のように制御入力を計算しモータを動かすことでローバーは図 8 に示すような経路で移動した。

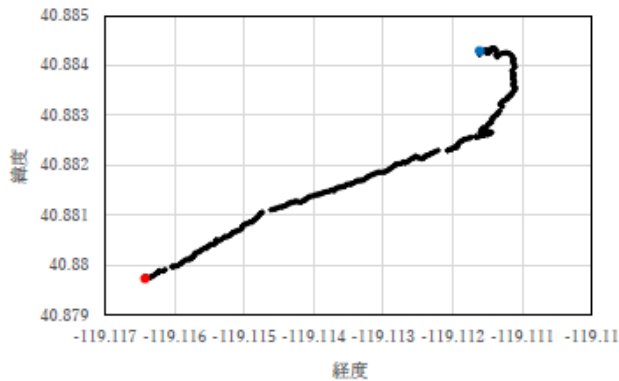


図 8 ローバーの移動経路 (赤点：走行開始地点、青点：ゴール)

4244 秒～4324 秒は図 8 における(緯度 40.882055, 経度-119.11268)～(緯度 40.882558, 経度-119.111735)の範囲である。図 7 ではモータ出力は左右どちらも大方 60%以上であり前方へ進んでいたことが分かる。図 8 の移動経路からも該当部分は前方に進んでいたことを確認できることから、制御入力通りにローバーが動いていることが分かる。

上述のようにモータへの制御入力を計算しモータを動作させることで、ローバーはゴールに向けて移動した。

#### ゴール判定フェーズ

走行によりゴール付近 5m に入った後、画像認識によりゴール接近を行った。ゴール判定では画像を撮影

しゴールが存在すれば位置（左、右、真ん中）を確認し、ゴールが真ん中に来るように前方へ移動する。もしゴールが存在しなければ 30 度ほど左回転する。ローバーがゴールに十分近づき、撮影した画像の 15.6%（76800 ピクセル中 12600 ピクセル以上）が赤色であった場合、「0 m ゴールした」と判定する。

ゴール判定フェーズのログを表 3 に示す。またゴール判定に使用した写真を図 9~15 に示す。

表 3 ゴール判定時のログ

経過時間	ゴール有無	ゴール面積	ゴール位置	使用写真名
5326.721824	-1	0	-1	/home/pi/photo/photo0084.jpg
5337.795621	1	126	-84	/home/pi/photo/photo0085.jpg
5348.83233	1	277	-40.5	/home/pi/photo/photo0086.jpg
5359.782045	1	1110.5	-113	/home/pi/photo/photo0087.jpg
5370.850353	1	4206.5	-20.5	/home/pi/photo/photo0088.jpg
5381.573008	0	67091	0	/home/pi/photo/photo0089.jpg
5392.317088	0	76241	0	/home/pi/photo/photo0090.jpg

※ゴール有無：[-1, ゴールなし]、[1, 左側にゴールあり]、[2, 右側にゴールあり]、[0, ゴール目の前]

ゴール面積：画像内に存在するゴールのピクセル数

ゴール位置：画像の中心と画像内のゴールの中心との差（右方向为正）



図 9 画像/home/pi/photo/photo0084.jpg



図 10 画像/home/pi/photo/photo0085.jpg



図 11 画像/home/pi/photo/photo0086.jpg



図 12 画像/home/pi/photo/photo0087.jpg



図 13 画像/home/pi/photo/photo0088.jpg



図 14 画像/home/pi/photo/photo0089.jpg



図 15 画像/home/pi/photo/photo0090.jpg

上記の写真で画像処理を行った結果の一部を図 16 に示す。ローバーに搭載したマイコンでは解析結果を画像で表示できなかったため、競技終了後パソコンを用いて解析した。解析結果は表 3 のものと一致している。

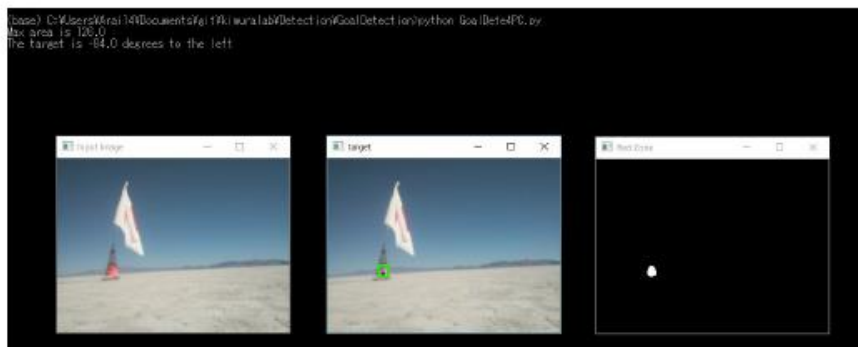


図 16 ゴール判定の画像解析結果 (図 11. /home/pi/photo/photo0085.jpg の画像を解析)  
※上図内の画像は左から「元の画像」「ターゲット」「赤い領域の最大領域」

ログと画像から実際行った動作を説明すると、最初に撮影した画像 (図 9) にはゴールがなかったため左回転したところ、図 10 のような画像が撮影された。図 10 では左側にゴールがあるため左前方に進んだ。撮影・移動を繰り返したことで、最終的には図 15 のような画像が得られ、ゴールに十分接近したと認識、「ゴ

ールした」と判定した。

以上より画像判定によりゴールを認識し位置を修正しながら 0m ゴールができたことを確認できる。

## 第9章 まとめ

能代に関しては、技術力、マネジメント力それぞれに欠点が浮き彫りになったことが原因で大会が成功しなかった。投下当日の流れの確認、事前準備の怠りなどによるミスが目立った。これから、実行に移す際はWBSを用いてしなければならないことを明確化し、確認作業をすることの重要性を学んだ。

この反省を生かしARLISSでは流れの確認、当日作業の明確化を図り最悪の事態を免れることができた。結果当研究室では快挙を成し遂げることができた。

ただ、それ以前のスケジュール管理が手探りで合ったのも影響し、きちんと立てられなかったため、審査書提出直前になって早急に試験を行う惨事を招いた。

以後はスケジュール管理を怠ることなく、またWBS、FTAなどで作業の明確化を行うことが重要だとこの2回の大会を経て思った。