

超小型ロケット用独立搭載型 テレメトリ装置の開発

神奈川大学 宇宙ロケット部・航空宇宙構造研究室

○星拓磨，高野敦

株式会社フルハートジャパン

国廣愛彦，三宅真

目次

- ➔ 1. はじめに
- 2. 目的・経緯
- 3. 従来装置の課題
- 4. 今回の開発における改善
- 5. 装置概要
- 6. 機能・性能
- 7. 結論

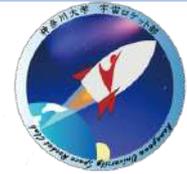
1. はじめに

概要

- 神奈川大学宇宙ロケット部は航空宇宙構造研究室と共同で超小型衛星を安価で迅速に打ち上げるためのハイブリッドロケットの設計・開発、打ち上げ試験を行っています。
- 2017年度にテレメトリ装置とデータロガーを開発し、2017年度及び2018年度の打ち上げでは高度及びGPSデータの伝送に成功し、その結果機体の回収にも成功しました。
- 2019年度は開発されたテレメトリ装置とデータロガーの機能を統合し、将来の製品化を見据え信頼性の向上と既存プログラムの見直しによる性能向上と同時にさらなる小型化を行いました。

1. はじめに

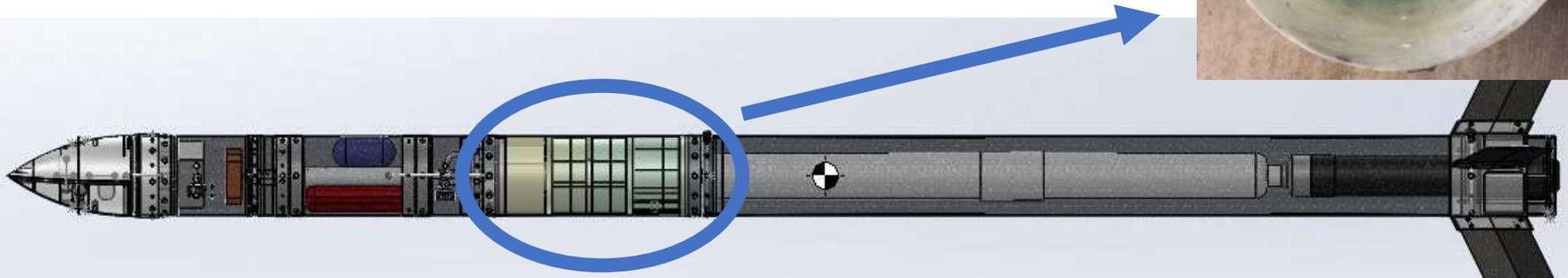
神奈川大学 宇宙ロケット部



- 神奈川大学宇宙ロケット部は航空宇宙構造研究室と共同で超小型衛星を安価で迅速に打ち上げるためのハイブリッドロケットの設計・開発、打ち上げ試験を行っています。
- 宇宙ロケット部では主にテレメトリ装置の設計・製作・開発や機体の製作、広報活動を中心に行っています。

テレメトリとは

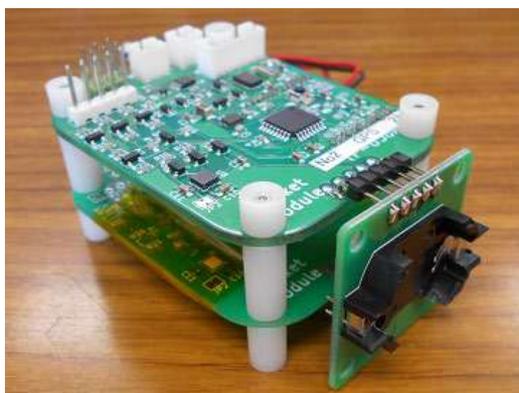
測定データを離れた場所で確認するための装置
衛星やロケット・航空機に用いられます。



1. はじめに

株式会社フルルートジャパン

- 計測制御を主軸とした制御機器の設計開発を行っている企業です。
- 加工技術として組立配線、メカトロ組立、基板実装、計装配管、板金加工、塗装処理、それらすべての加工技術に関するソフト／ハード設計を行い一貫生産を強みとしてモノづくりをしている企業です。
- モノづくりの社会貢献活動として下町ボブスレーにも深くかかわっています。



2019年度 テレメトリ装置

目次

1. はじめに
- 2. 目的・経緯
3. 従来装置の課題
4. 今回の開発における改善
5. 装置概要
6. 機能・性能
7. 結論

2. 目的・経緯

開発経緯

宇宙ロケット部では、2016年12月からテレメトリ装置の開発に着手した。これは2016年12月に伊豆大島での打ち上げ試験にて機体を片方をロストしてしまい、機体搭載のデータロガーに記録されていた、フライトデータの大部分を得ることができなかった。このような事象を受け、機体が回収できなかった場合に得られるフライトデータが非常に少なくなってしまうことを避けるためテレメトリ装置を開発した。

目的

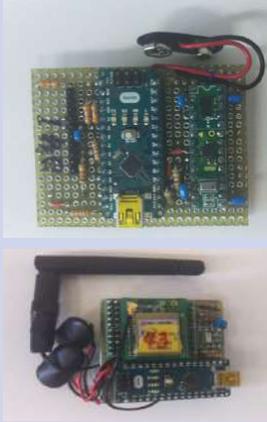
機体回収ができない場合でも、高度等を計測したデータを回収する。装置回収を円滑に進めるために位置情報の取得を行う。

独立搭載型とは

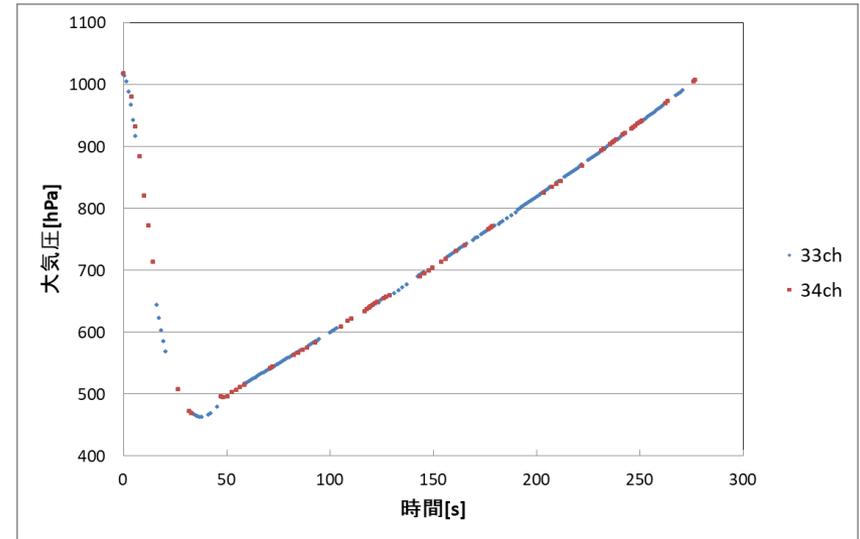
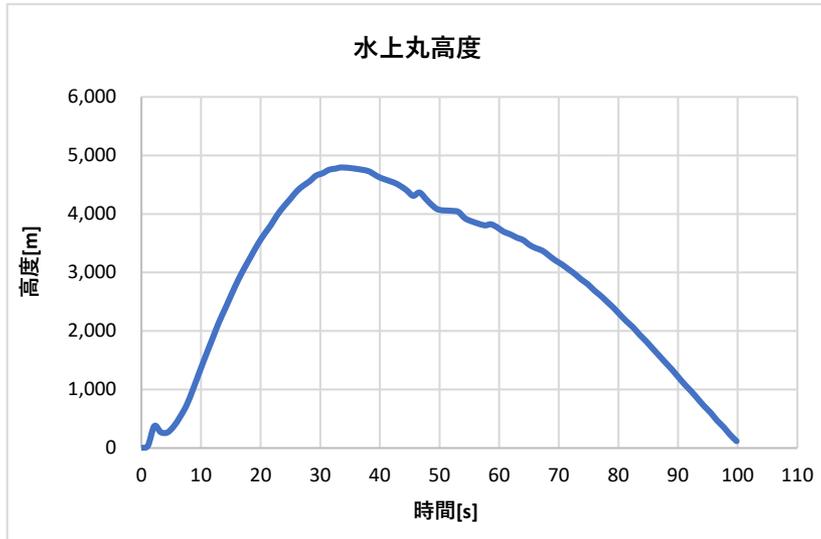
独立した電源を有した装置として開発され、外部からの電源供給を必要とせず、万一機体が着水時に破損しても回収可能なように水に浮くように設計した。さらに電源スイッチなどを省略することでロケット機体内部への配線も不要であり、ロケット機体への組み込みが非常に容易である。

2. 目的・経緯

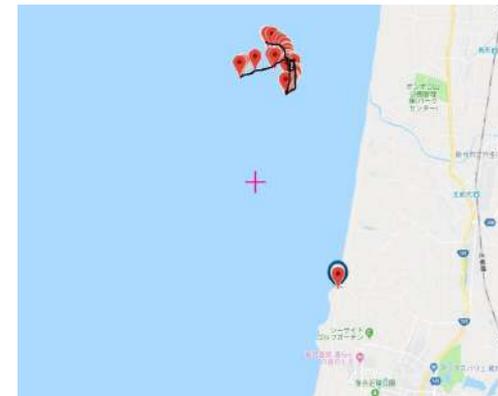
テレメトリ装置の実績

	2017年度	2018年度
装置		
開発内容	大気圧（高度）・GPSを送るテレメトリの開発に成功	2017年度と比較して気圧センサを高性能なものに変更 強制分離・電圧モニタの開発に着手
実績	伊豆大島打ち上げ試験 到達高度：4779m	能代打ち上げ試験 到達高度：6204m

2. 目的・経緯



2017年度伊豆大島打ち上げ試験



2018年度能代打ち上げ試験

上記は2017年度及び2018年度打ち上げ試験での高度とGPSデータになります。
開発してきた装置はロケット打ち上げ環境下でも正常に動作することが確認できた。

目次

1. はじめに
2. 目的・経緯
- ➔ 3. 従来装置の課題
4. 今回の開発における改善
5. 装置概要
6. 機能・性能
7. 結論

3. 従来装置の課題

信頼性上の課題

- 学生の手はんだにより作成されるため、出来栄が個々の技量に依存する。
- 電気・電子を専門とする教員が在籍していない。
- 電子回路の設計信頼性
- 電源設計の信頼性

通信設定・プログラムの見直し

- さらなる測定精度向上のために高速サンプリングの実現

開発リソースの確保

- すでに開発済みの装置をリピートで製作することは技量向上にはなるが、新たな開発に取りくみづらくなる。

目次

1. はじめに
2. 目的・経緯
3. 従来装置の課題
- ➔ 4. 今回の開発における改善
5. 装置概要
6. 機能・性能
7. 結論

4. 今回の開発における改善

信頼性上の課題

- プリント基板化により品質の向上と均一化
- 専門の設計者により電子回路と電源回路の見直しによって信頼性の向上

通信設定・プログラムの見直し

- 通信データの整理・見直し
- 大気圧センサのサンプリングが向上
- 省電力化に伴い性能が低下、プログラムの見直しを行うことで改善

開発リソースの確保

- すでに開発済みの装置を製品化することで新たな開発に取り組むことが可能

目次

1. はじめに
2. 目的・経緯
3. 従来装置の課題
4. 今回の開発における改善
- ➔ 5. 装置概要
6. 機能・性能
7. 結論

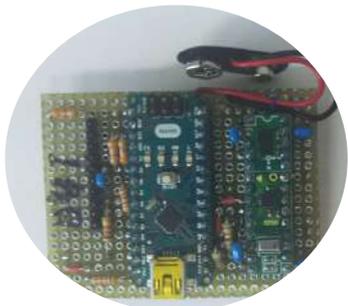
5. 装置概要



2017年度GPS



2017年度大気圧



2017年度データロガー



実績のあるセンサや回路の組み合わせなどはそのまま



2019年度テレメトリ試作機

主に行われた改良のまとめ

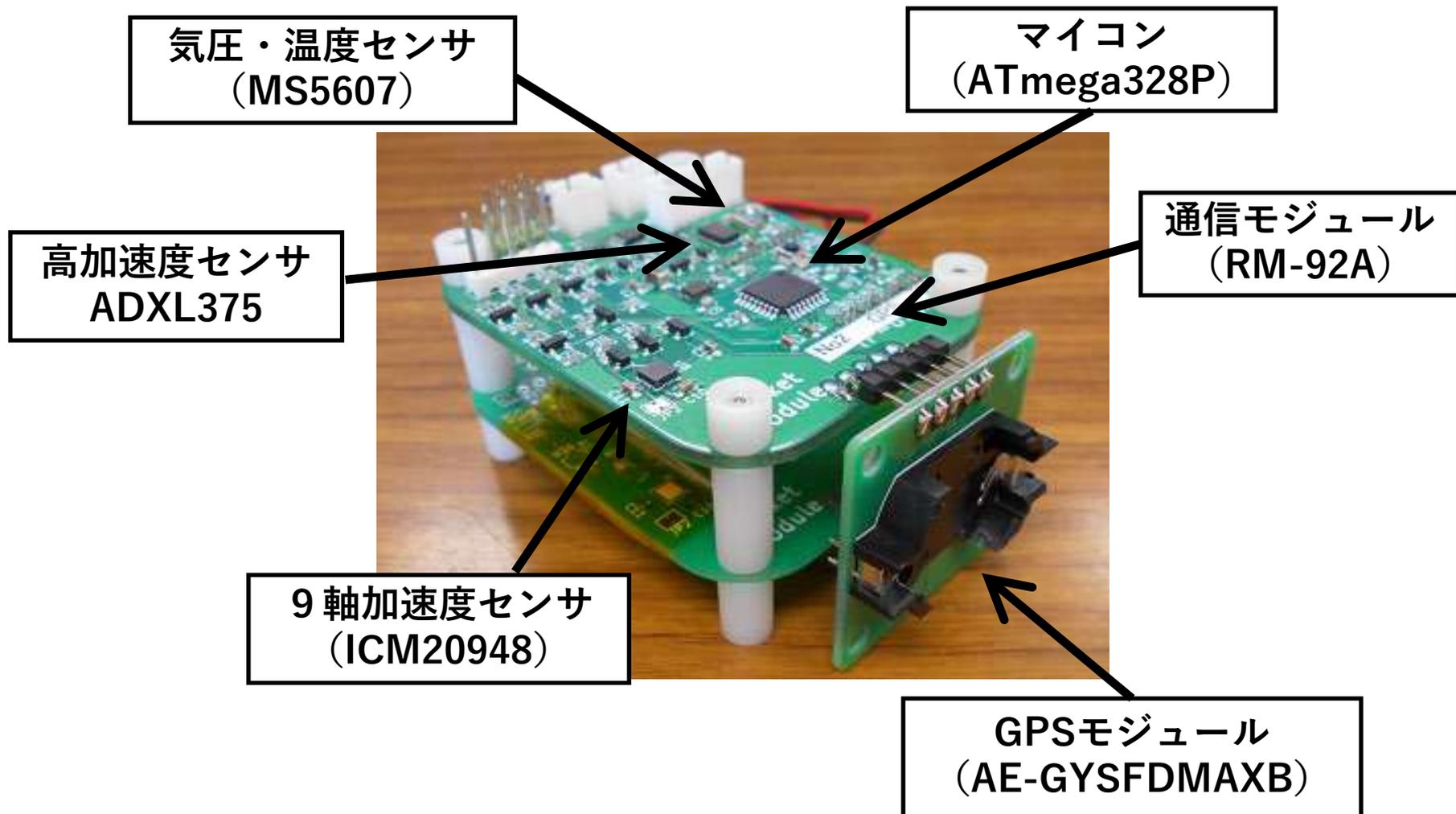
- プリント基板化・表面実装
- 回路設計・電源設計の見直し
- 機能集約
- 小型化・軽量化
- 省電力化
- プログラムの見直し

目次

1. はじめに
2. 目的・経緯
3. 従来装置の課題
4. 今回の開発における改善
5. 装置概要
- ➔ 6. 機能・性能
7. 結論

6. 機能・性能

～装置外観～



機器寸法：57mm×45mm×10mm (35mm)
実装重量：108.3g

6. 機能・性能

～装置重量・耐環境性～

装置	重量[g]	耐環境性
2017GPS	49.0	防水性・耐振動性・ 水に浮く
2017大気圧	38.5	防水性・耐振動性・ 水に浮く
2017 データロガー	29.6	防水性・耐振動性・ 水に浮く
2019 テレメトリ	24.8	防水性・耐振動性・ 水に浮く*1

*1 試験検証は未実施

機能統合とバッテリーサイズの小型化によって軽量化を達成

独立搭載型の実現に向けて

- 独立搭載型の要件である。防水性と水に浮く設計を行った。

6. 機能・性能

～テレメトリ機能～

装置名	サンプリングレート	ソフトウェア機能
2017 GPS	0.8Hz	位置情報を緯度経度に直し、地上局に送信 定期的に再起動
2017 大気圧	0.9Hz	気圧データを高度に変換し、地上局に送信 定期的に再起動
2017 データロガー	7.9Hz	常にSDカードにデータ保存
2019 GPS	0.5Hz	NMEAデータのみ地上局に送信 地上局側では位置情報表示ソフトを利用可能 再起動せずリセット回路を使用
2019 大気圧	1.0Hz(地上局) 12.7Hz(SDカード)	気圧データを高度に変換し、地上局に送信 通信できなくてもSDカードにデータ記録可 再起動せずリセット回路を使用
2019 データロガー	7.5Hz (プログラム見直し で向上の見込み)	常にSDカードにデータを保存 三軸高加速度±200G, 三軸低加速度±16G 角加速度±2000dps, コンパス4900μT

- GPSは通信時に合わせてNMEAデータをサンプリングし周期性を持たせたことで通信が安定するようになった。
- 大気圧は通信していなくてもはSDカードに記録するように変更
- 大気圧のサンプリングレートが向上
- データロガーはセンサの生データのみを記録

6. 機能・性能

～GPS機能～

- 従来は座標数値データをダウンロードしていた為、地上では地図表示するには手打ちで座標を入力しなければならず不便だった。
- 座標データをNMEA形式でダウンロードすることで、位置情報ソフト側で座標を自動変換し地図への直接プロットが可能になったことで利便性が向上した。

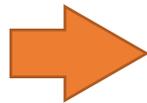
The screenshot shows the GPSInfo software interface. On the left is a control panel with buttons for 'シリアル接続' (Serial Connection), 'ファイルリプレイ' (File Playback), '測位情報' (Positioning Information), '方位磁針' (Compass), 'GPS 情報 1' (GPS Info 1), 'GPS 情報 2' (GPS Info 2), '地図情報' (Map Info), '住所情報' (Address Info), 'ターミナル' (Terminal), and 'ファイル出力' (File Output). The main area is a map with a red triangle marker indicating the current location. A callout box points to this marker with the text 'リアルタイムでの現在位置の表示' (Real-time display of current position). Below the map is a terminal window titled 'ターミナル - GPSInfo' showing NMEA data. A callout box points to the terminal with the text '【ターミナル】テレメトリGPSからの受信データ (NMEA形式)' (Terminal: Received data from telemetric GPS (NMEA format)). To the right of the terminal is a '測位情報 - GPS...' window showing real-time data: 緯度 (Latitude) 北緯35度34.4813分 (35°34.4813' N), 経度 (Longitude) 東経139度43.1659分 (139°43.1659' E), 標高 (Altitude) 27.4 m, ズオイド (Geoid) 39.5 m, 速さ (Speed) 0.0 km/h, 進行方向 (Course) 0.0 度.

GPSを使ったマップへの位置表示

6. 機能・性能

～バッテリー機能～

装置名	使用バッテリー	連続使用時間
2017 GPS	二酸化マンガンリチウム電池 (1200mAh)	実測値：27時間 (電池2個, 64g)
2017 大気圧		実測値：37時間 (電池2個, 64g)
2017 データロガー		データなし (電池1個, 32g)
2019 GPS	リチウムイオンポリマー電池 (400mAh)	実測値：13.5時間 (電池2個, 18g)
2019 大気圧		実測値：16時間 (電池2個, 18g)
2019 データロガー		計算値：37時間 (電池2個, 18g)



二酸化マンガン
リチウム電池 (32g)

リチウムイオン
ポリマー電池 (9g)

独立搭載型の実現に向けて

- 電池サイズ・重量が減少した。
- 連続使用時間は12時間以上確保した。
- 外部接続の配線類を失くし、独立した電源を確保するように設計した。
- 従来は一次電池を使用していたが、二次電池に変更。充電回路を追加し、繰り返し使用できるようになった。

目次

1. はじめに
2. 目的・経緯
3. 従来装置の課題
4. 今回の開発における改善
5. 装置概要
6. 機能・性能
- ➔ 7. 結論

7. 結論

ハイブリッドロケット搭載用の小型軽量なテレメトリ装置の開発に成功した。

信頼性上の課題

- 専門の設計者により電子回路と電源回路の見直しにより信頼性が改善された。
- プリント基板化することで品質向上と品質の均一化に成功した。
- **バッテリーサイズが小型低容量になったが、12時間以上の連続稼働時間は確保できた**

通信設定・プログラムの見直し

- 通信データの整理・見直しを行った。
- 大気圧テレメトリのサンプリングレートが向上した。
- 省電力化に伴い、性能低下をプログラムの見直しを行うことで改善した。
- **位置情報表示ソフトを利用できるようになり、地図に位置をプロットし数値データより見やすくなった。これによって打ち上げ試験での利便性が向上した。**

開発リソースの確保

- すでに開発済みの装置を製品化することで、新たな開発に取り組むことができる。

独立搭載型の実現に向けて

- 防水性・水に浮くように設計を行った。
- 電源スイッチなどを載せず、外部接続の配線類を不要としたことで、扱いやすくロケットへの組み込みなどが容易となった。
- 外部電源を用意せずに12時間以上の連続動作時間の確保に成功した。

終わりに

今後の予定

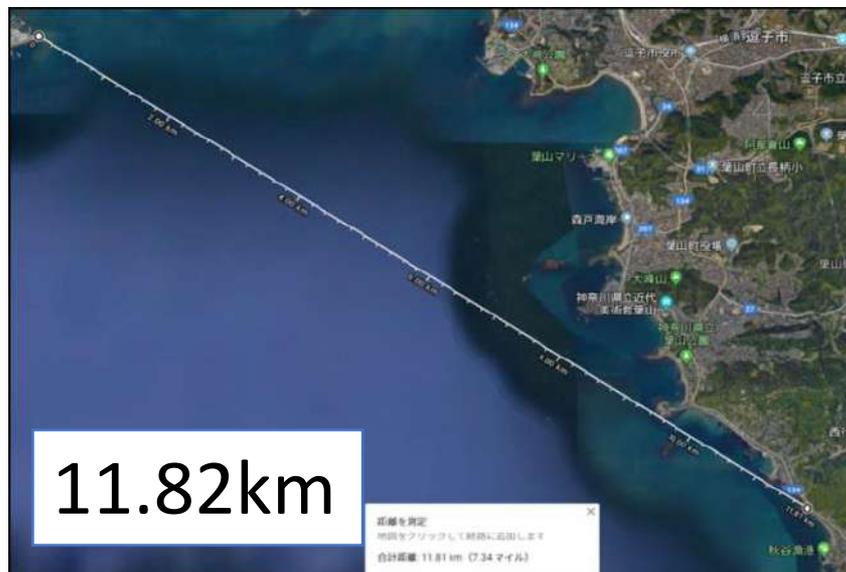
- 各種動作試験（振動・浸水・通信等）
- 今年度の打ち上げ試験に向けてソフトウェアの更なる見直し
- 今年度ハイブリッドロケットに搭載し打ち上げ、検証予定

- 汎用性の強化
- 受信側UIの改善

- **来年度一般に向け株式会社フルハートジャパンより販売予定
評価用の貸し出しも可能ですので、興味があれば連絡ください**

付録

最終長距離通信試験 (2018)



付録

小田原城一江の島間通信実験（2017）

実施日	実験内容
6月3日	小田原城江の島間長距離(30km)通信実験
7月24日	振動試験(データロガー)
8月7日	燃焼試験時に電波通信実験
8月7日	GPS,大気圧振動試験(電池が足りなくて失敗)
8月8日	GPS、大気圧振動試験(8月8日)

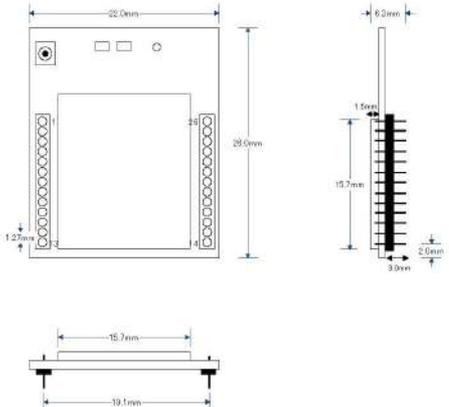
実施日	実験内容
8月22日	最終コンフィギュレーション試験
8月23日	最終コンフィギュレーション試験
8月24日	一機ずつの最終コンフィギュレーション試験
8月25日	2機同時の最終コンフィギュレーション試験
8月25日	江の島辻堂間(4.7km)通信試験

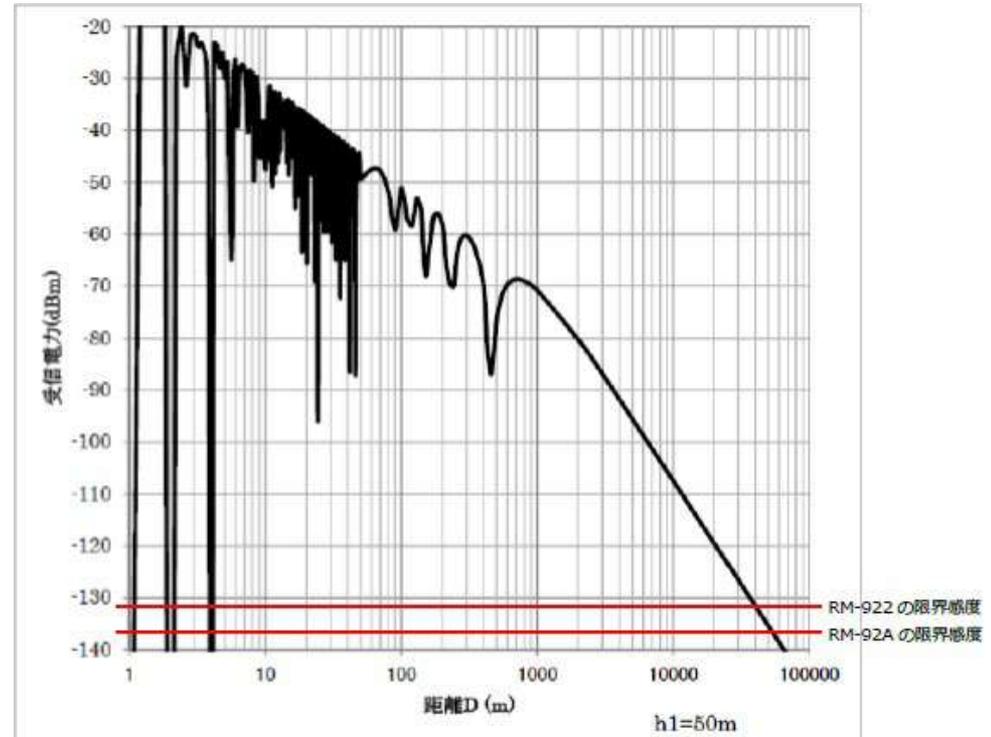
6月3日は通信モジュール単体のみの通信試験で、通信モジュール単体が正常に通信できるかを確認した。

付録

RM-92Aデータシートより通信距離

- 見通し通信距離：約100km
- 実績：SS-520 Tricom-1Rでの使用実績有
7th UNISEC Space Takumi Conferenceより

920MHz 通信モジュール			
定 格			
品名	920MHz通信モジュール RM-92A	電源電圧	2.1~3.6V
電波仕様		消費電力 (電流値)	送信時:28.0mA 受信時:10.5mA Deepスリープ時:1μA以下 タイマースリープ時:1.45μA
周波数帯	920MHz帯	重量	約2.4g
変調方式	LoRa/FSK/GFSK	外形寸法	26.0mm(縦) × 22.0mm(横) × 6.3mm(厚み)
最大転送速度	252.97bps~300Kbps	動作温度	-0°C~+50°C
チャンネル数	38ch	保存温度	-25°C~+75°C
アンテナ	内蔵ワイヤアンテナ (銅線アンテナ直付) または外部接続アンテナ (U.FLコネクタ搭載)	環境対策	RoHS対応
最大送信電力	+13dBm	セキュリティ	AES128標準装備
受信感度	-137dBm	ネットワーク	マルチホップ通信標準装備
最大通信距離	約100km (超長距離モード時見通し距離)	電波法	工事設計認証取得済
制御仕様		外部I/F	GPIO(4PIN) ADC(12bit × 4ch) SPI(1ch) I2C(1ch) UART(1ch)
コアプロセッサ	STM32L151 (ARM Cortex-M3)	接続コネクタ	13pin × 2列 (1.27ピッチピンヘッダ)
内蔵メモリ	Flash: 128KB SRAM: 16KB EEPROM: 4KB		
外形寸法図			
			
型番	RM-92A	分類	RF
	GREEN HOUSE	発行	2016年2月 (初版)
		頁	1/2



付録

2018年 テレメトリ振動実験



付録

2018年 能代打ち上げ試験フライトデータ

