

令和4年度 宇宙輸送シンポジウム  
ハイブリッドロケットの無線通信の混信対策  
Interference of Wireless Communication for Hybrid Rockets

大槻 龍一\*, ○服部 建太\*, 高野 敦\*, 喜多村 竜太\*, 國廣 愛彦\*\*, 三宅 真\*\*

\*神奈川大学, \*\*株式会社フルハートジャパン

Otsuki Ryuichi\*, ○Hattori Kenta\*, Takano Atsushi\*, Kitamura Ryuta\*,  
Kunihiro Yoshihiko\*\*, Miyake Makoto\*\*

Abstract: In recent years, nano-satellites have been actively developed. In order to launch them quickly and cheaply, we are developing a nano-hybrid rocket. The cause of the loss of communication between the telemetry system and the forced separation system was investigated. Countermeasures were taken, including reviewing the transmitter settings, placing transmitters at appropriate distances from each other, and reducing the number of transmitters by integrating their functions. The results are reported.

## 1. 緒言

近年、超小型人工衛星開発が活発に行われている。それらを安価かつ迅速に打ち上げるため、当研究室では超小型ハイブリッドロケットの開発に取り組んでいる。打上試験時に計測および機体を回収するためにテレメトリ通信装置が必要である。冗長性を確保するためGPSと大気圧で独立したテレメトリ装置を搭載している。しかし超小型ロケットのためこれらを収納するために、密集した配置となり、通信に影響する課題もでてきた。

## 2. 2021年度の不具合・原因究明

2021年度の打上試験においてテレメトリ装置4台(GPS2台と大気圧2台)のうちGPS2台と大気圧1台の通信が途絶した。このテレメトリ装置は2017年に開発<sup>(1)</sup>、2020年に製品化<sup>(2)</sup>したものであり、単体では理論上100kmの通信距離を有するものである。

2021年度の打上試験後、テレメトリ装置の無線モジュールの解析を行ったところ、通信不良の原因の一つとしてキャリアセンスが挙げられた。キャリアセンスとは電波を送信する際に、混信を避けるため他の電波と重なる場合は自身の電波の送信を停止する機能である。テレメトリ装置はキャリアセンスをOFFにする機能があるのでキャリアセンスONとOFFの状態です送信機と受信機を離して通信状況を確認する試験を行

った。

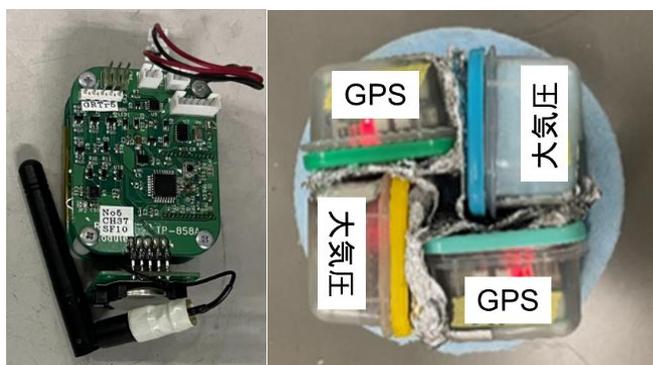


図1 テレメトリ装置と2021年度の配置

図2にキャリアセンスがOFFのとき、図3にキャリアセンスONのときの通信のグラフを示す。図の縦軸はRSSI、横軸は、時刻である。キャリアセンスがOFFのときは継続して通信が来ていたが、キャリアセンスがONのときは通信が停波してしまった。この結果から他の帯域と重なり混信が起き、これを避けるため自身の電波の送信を停止するキャリアセンスが作動した。

## 3. キャリアセンス対策

キャリアセンスが動作する環境条件が明確になって

いなかったため、送信機同士の ch (チャンネル) の間隔とアンテナ同士の物理的な距離を離し試験を行った。2021 年度打上試験で使用した ch の関係は 7 ch 離し、アンテナ同士の距離は最も近接している状態で約 40[mm]であった。

ch を離してもスプリアス(漏れ電波、後述)部分によりキャリアセンスが働くため、どの程度 ch を離せばキャリアセンスが働かないかを送信機のスプリアスをスペクトラムアナライザで測定した。測定部はアンテナの中心に接触させた。接触させた様子を図 4 に示す。



図 2 キャリアセンス OFF

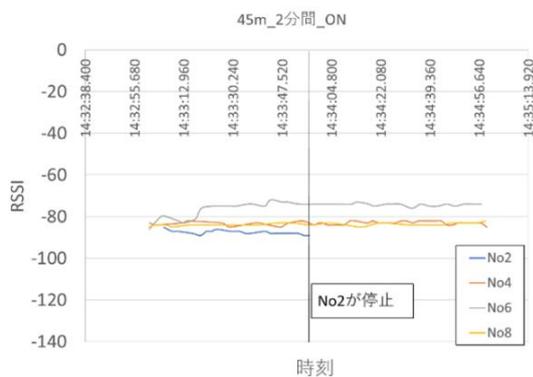


図 3 キャリアセンス ON

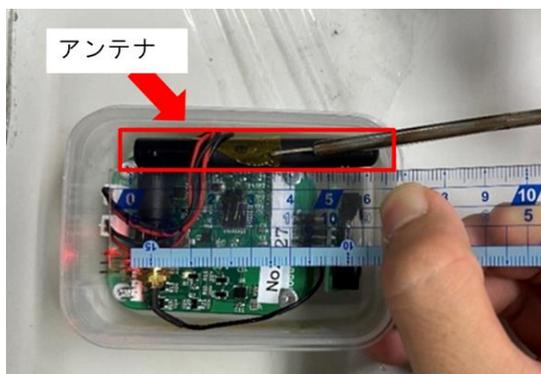


図 4 接触させた様子

総務省技術基準<sup>3)</sup>によるとテレメトリが使用している 920MHz 帯でのキャリアセンスが起こるレベルは -80[dBm]以下である必要がある。No2, No4, No6 及び No8 の 4 台の送信機を測定した。それぞれの波形を動画で撮影し、もっとも波形が大きくなったと思われる瞬間を切り取り、波形を読み取った。読み取った波形(No2)を図 5 に示す。No2 は 5ch まで -80[dBm]を超えている。

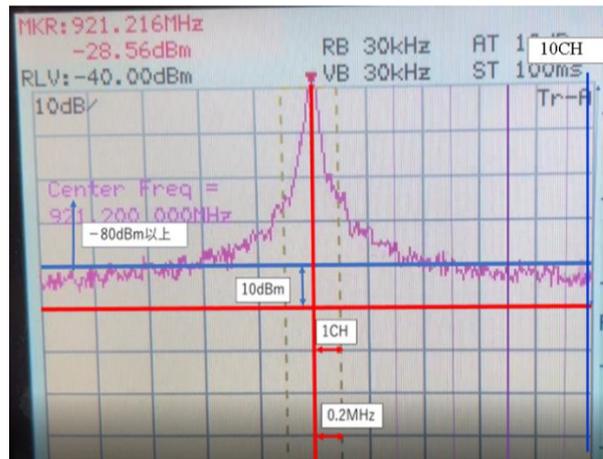


図 5 No2 の読み取った波形

次に直交配置と直列配置での距離によって働くキャリアセンスの条件を調べた。アンテナ間の距離はアンテナの中心から頂点までを測り 0[mm], 50[mm], 100[mm]及び 150[mm] の条件で試験を行った。直交配置 0[mm]での様子を図 6, 直列配置 0[mm]での様子を図 7 示す。1 ケース 1 分 30 秒程度時間をとって試験を行った。キャリアセンスが働いた場合は×としている。試験の結果, No8 の表を表 1, 2 に示す。直交配置では 100[mm]以上離せばキャリアセンスが働かず, 直列配置では, 10ch 以上かつ 100[mm]以上離せばキャリアセンスは働かないことが分かった。

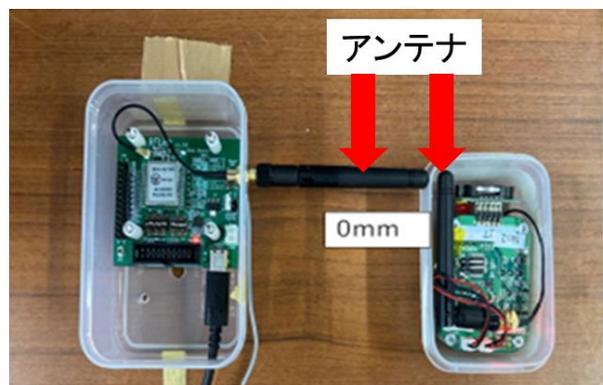


図 6 直交配置 0[mm]

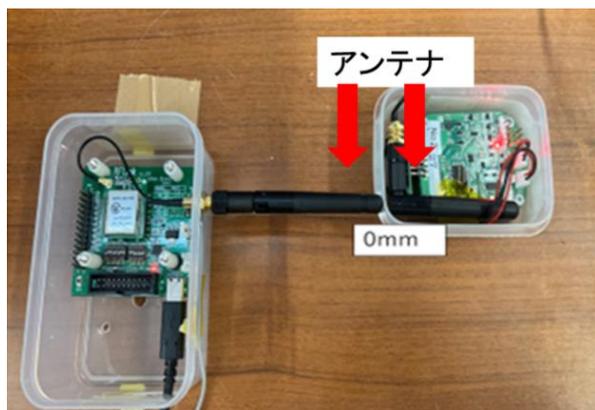


図7 直列配置 0[mm]

表1 直交配置 No8

No8		距離mm			
		0	50	100	150
ch	3	✖	○	○	○
	5	○	○	○	○
	8	○	✖	○	○
	9	○	○	○	○
	10	○	○	○	○
	11	○	○	○	○

1m離しても5ch離すと受信し始めた

表2 直列配置 No8

No8		距離mm			
		0	50	100	150
ch	3	✖	○	○	○
	5	○	○	○	○
	8	○	○	○	○
	9	○	○	○	✖
	10	○	○	○	○
	11	✖	○	○	○

1m離しても5ch離すと受信し始めた

そして2021年度と同様にテレメトリ装置を4台入れた場合は、100[mm]以上離すことはできなかったのので、GPSと大気圧テレメトリを統合し、4台から2台へ減らすことにした。大気圧テレメトリ装置にGPSテレメトリ装置はハードウェアは同じなのでテレメトリ装置の統合は、別々だったプログラムを結合することによって統合した。

100[mm]以上離すという基準を踏まえ2022年度の機体に乗せるテレメトリ装置の配置を決定した。機体の中では、アンテナ間の距離を100[mm]以上離し、かつ送信機同士のチャンネルをできるだけ離し10ch以上離すように設定した。2022年度のテレメトリ装置の配置を図8に示す。

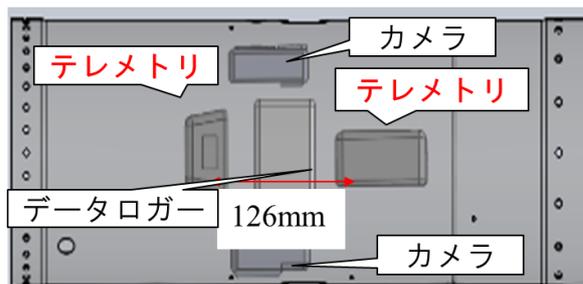


図8 2022年度のテレメトリ装置の配置

#### 4. 打ち上げ試験

打ち上げ試験でのテレメトリ及び強制分離の各種設定を表3、表4に示す。

表3 1機目各設定値

機器	ch	SF値	BW値 [kHz]
No1(GPS+大気圧)	24	10	125
No3(GPS+大気圧)	35	10	125
No6(一段目強制分離)	48	10	125
No8(二段目強制分離)	60	10	125

表4 2機目各設定値

機器	ch	SF値	BW値 [kHz]
No2(GPS+大気圧)	27	10	125
No5(GPS+大気圧)	38	10	125
No7(一段目強制分離)	49	10	125
No9(二段目強制分離)	61	10	125

表5に2021年度の打ち上げ前の通信の様子を示す。電源OFFが「OFF」、通信できたを「○」、通信ができず復活しなかったを「×」、途中通信が途中で途絶したが TeraTarm 再起動で復活したを「-」としている。表5<sup>(4)</sup>を見ると2021年度は打ち上げ前に複数回通信が停止していることが分かる。

2022年度の通信状況を表6に示すように、打ち上げ直前まで通信が停止することはなく、2021年度よりも通信状況が改善した。

2022年度での飛行中の通信状況を表7に示す。強制分離の48chと60chは飛行中に通信が途絶した。原因は新たに基板を追加したことにより横方向の加速度に対する強度が低下し、飛行中に横加速を受けて破損し、通信が途絶した可能性がある。またテレメトリ2台(24chと35ch)は着水により通信が途絶し、3秒程度の差は通信間隔によるものと思われる。

表5 打ち上げ試験時のテレメトリの通信状況

時:分	GPS		大気圧		強制分離	
	24ch	31ch	38ch	45ch	52ch	59ch
0:49	OFF	OFF	○	○	OFF	OFF
0:54	○	OFF	○	○	OFF	OFF
0:57	○	○	○	○	OFF	OFF
1:10	○	×	○	○	OFF	OFF
1:29	○	×	○	○	OFF	○
1:30	○	×	○	○	○	-
3:40 (ランチャー挿入)	○	×	○	○	-	-
5:19	○	×	×	○	-	-
5:40	○	×	×	○	○	○
6:00 (飛翔前)	○	×	×	○	○	○
6:00 (飛翔中)	×	×	×	○	×	×

表6 2022年度の打ち上げ試験時の通信状況

時:分	GPS/大気圧		強制分離	
			一段目	二段目
	24ch	35ch	48ch	60ch
3:36	OFF	○	OFF	OFF
3:41	○	○	OFF	OFF
3:46	○	○	OFF	○
3:52	○	○	○	○
4:24	○	○	○	○
4:40	○	○	○	○
6:00	○	○	○	○

表7 2022年度の飛翔中の通信状況

時:分:秒	GPS/大気圧		強制分離	
			一段目	二段目
	24ch	35ch	48ch	60ch
6:00:17	○	○	○	○
6:00:27	○	○	○	○
6:00:40	○	○	×	○
6:00:57	○	○	×	○
6:01:00	○	○	×	×
6:01:32	○	○	×	×
6:01:33	○	○	×	×
6:01:36	○	×	×	×
6:01:45	×	×	×	×

## 5. 結言

2021年度に発生したテレメトリ及び強制分離の混信問題について対策した。

キャリアセンスが働かない最適な送信機同士のch及びアンテナ同士の距離を試験により求めた。試験の結果、アンテナ間の距離を100[mm]以上離し、かつ送信機同士のチャンネルを帯域の中でできるだけ離し10ch以上離すように設定した。

2021年度の打ち上げ試験では打ち上げ前にも関わらず何度か通信が停止していたが、2022年度は打ち上げ前まで継続的に通信ができたため混信問題について解決することができた。

## 参考文献

- (1) 島崎拓己, ほか, テレメトリ装置の開発と伊豆大島打ち上げ結果, 8th UNISEC Space Takumi Conference, UNISEC2018-003 (神奈川, 2018)
- (2) 星拓磨, 高野敦, 三宅真, 國廣愛彦, 超小型ロケット用独立搭載型テレメトリの開発, 10th UNISEC Space Takumi Conference, UNISEC 2020-003 (2020)
- (3) 総務省 920MHz 帯小電力無線システムの高度化に係る技術基準の見直し (案)  
p23:[https://www.soumu.go.jp/main\\_content/000452569.pdf](https://www.soumu.go.jp/main_content/000452569.pdf)
- (4) 岡村元太, 渡邊舜也, 分離機構及びテレメトリ通信装置の高信頼度化, 神奈川大学卒業論文 (2022). p.80.