

平成 30 年度

# OrigamiSat-1 報告書

東京工業大学 名前

何か書く？



# 目 次

第 1 章	背景および衛星の概要	1
第 2 章	ミッション定義	2
2.1	開発の目的・ミッションステートメント/サクセスクライテリア/ミッションシーケンス	2
2.2	システム要求(ミッション系(坂本)/バス系/インターフェース/安全(中西))	2
2.3	システム設計	2
第 3 章	サブシステム開発の経緯(設計・試験)	3
3.1	電源系(概要/EPS/インヒビット設計(二重絶縁)/電源系統図/電池/SAP)(池谷・中塚)	3
3.2	通信系(衛星)(大本)	3
3.3	地上局(加藤・飯島)	3
3.4	C&DH 系(OBC 岩崎・小出・林・井手, COBC 黒崎・中塚・大本, Rpi 飯島)	3
3.5	姿勢制御系(恒光・中西)	3
3.6	構体系(奥山・大野) 重量管理も含む	3
3.7	熱系(中村)	3
3.8	VHF/UHF 展開アンテナ(仁尾・坂本)	3
3.9	ミッション系	3
3.9.1	5.8GHz 通信ミッション(井手)	3
3.9.2	伸展カメラ	3
3.9.3	膜展開部	3
第 4 章	統合試験	4
4.1	放射線試験(寺田(報告書)・池谷・黒崎)	4
4.2	形状計測試験(大野・奥山)	4
4.3	振動試験(加藤・飯島)	4
4.4	衝撃試験(大野)	4
4.5	連続動作試験 EMver(?)	4
4.6	姿勢制御試験(恒光)	4
4.7	通信系 機能試験(大本)	4
4.7.1	通信系設計, 機能試験を行うにあたって	4
4.7.2	モノポールアンテナ	5
4.7.3	パッチアンテナ	5
4.7.4	モノポールアンテナ インピーダンスマッチング試験	6
4.7.5	モノポールアンテナ 放射特性試験	9
4.7.6	パッチアンテナ 利得・放射特性試験	10
4.7.7	長距離通信模擬試験	11
4.7.8	反省点	12
4.8	熱真空試験(中村): ベーキングについても言及	12
4.9	表面あらさ計測(大野・奥山)	12

4.10 放出試験（大野・奥山）	12
<b>第5章 安全審査（中西・坂本）</b>	<b>13</b>
5.1 Phase 0/1	13
5.2 Phase 2	13
5.3 Phase 3	13
<b>第6章 引き渡し</b>	<b>14</b>
6.1 コンプライアンスマトリクス（大野・中西）	14
6.2 内之浦での引渡し（中西・坂本）	14
<b>第7章 運用と不具合解析（加藤？）</b>	<b>15</b>
7.1 運用（坂本・加藤・井手）	15
7.2 軌道上データ（坂本・井手・岩崎）	15
7.3 不具合解析（岩崎・大本）	15
<b>第8章 革新的衛星技術実証プログラムへの参加（坂本）</b>	<b>16</b>
<b>第9章 国際周波数調整（中西）</b>	<b>17</b>
<b>第10章 内閣府宇宙活動法（坂本）</b>	<b>18</b>
<b>第11章 物体登録（中西）</b>	<b>19</b>
<b>第12章 プロジェクトマネジメント（池谷・岩崎・大野）</b>	<b>20</b>
12.1 開発日程	20
12.2 人員配置・引継ぎ	20
<b>第13章 付録</b>	<b>21</b>
13.1 システム設計	21
13.2 5.8	21
13.3 構体系	21
13.4 VHF/UHF 展開アンテナ	21
13.5 通信系	21
13.6 C&DH 系	21
13.7 電源系	21
13.8 振動試験	21
13.9 熱真空試験	21
13.10連続動作試験	21
13.11引渡し	21
13.12プロジェクトマネジメント	21
13.13展開膜	21
13.14MDC	21
13.15伸展カメラ部	21
13.16運用	21

参考文献	22
謝辞	23

# 第1章 背景および衛星の概要

本文 aaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaaa

## 第2章 ミッション定義

### 2.1 開発の目的・ミッションステートメント/サクセスクライテリア/ ミッションシーケンス

test

### 2.2 システム要求 (ミッション系 (坂本) /バス系/インターフェース/安全 (中西) )

test

### 2.3 システム設計

test

## 第3章 サブシステム開発の経緯（設計・試験）

- 3.1 電源系（概要/EPS/インヒビット設計（二重絶縁）/電源系統図/電池/SAP）（池谷・中塚）
- 3.2 通信系（衛星）（大本）
- 3.3 地上局（加藤・飯島）
- 3.4 C&DH系（OBC 岩崎・小出・林・井手, COBC 黒崎・中塚・大本, Rpi 飯島）
- 3.5 姿勢制御系（恒光・中西）
- 3.6 構体系（奥山・大野） 重量管理も含む
- 3.7 熱系（中村）
- 3.8 VHF/UHF 展開アンテナ（仁尾・坂本）
- 3.9 ミッション系
  - 3.9.1 5.8GHz 通信ミッション（井手）
  - 3.9.2 伸展カメラ
    - (1) システム開発（ウェル・坂本）
    - (2) 3次元計測（飯島・黒崎）
    - (3) 動画計測（飯島）
  - 3.9.3 膜展開部
    - (1) 展開膜開発（古谷・坂本）
    - (2) MDC（大本）
    - (3) 薄膜太陽電池ミッション（大野）
    - (4) SMA アンテナミッション（鳥阪）
    - (5) 球状太陽電池ミッション（サカセ・坂本）



## 第4章 統合試験

### 4.1 放射線試験（寺田（報告書）・池谷・黒崎）

### 4.2 形状計測試験（大野・奥山）

### 4.3 振動試験（加藤・飯島）

### 4.4 衝撃試験（大野）

### 4.5 連続動作試験 EMver（?）

### 4.6 姿勢制御試験（恒光）

### 4.7 通信系 機能試験（大本）

通信系の機能試験として行ったのは、以下の4つがある。それぞれについて記述していく。なお、1, 2, 3の試験については東京工業大学電気電子系広川研究室の戸村崇助教のご厚意のもと、広川研究室所有の電波暗室をお借りして行った。

- モノポールアンテナのインピーダンスマッチング試験
- モノポールアンテナの放射特性試験
- パッチアンテナの利得・放射特性試験
- 長距離通信模擬試験

#### 4.7.1 通信系設計，機能試験を行うにあたって

私たち機械系の人間が通信系を担当するのには、かなり大きな専門知識の壁がある。恐らく利得とは何か、指向性とは何か、偏波とは何か、反射とは何か、周波数が違うと何が変わるのかなど、全く考えたことも無い状態でプロジェクトの通信系を担当することになるだろう。（私もそうだった）本衛星の開発では、スケジュールの都合などもあり、アンテナ工学などの分野を体系的に学習する時間が取れず、知識の曖昧な状態で機能試験を行い、ほとんど意味のない試験を行ってしまったこともあった。できるのであれば、簡単な図解の本などでいいからアンテナ工学について体系的な学習を行ってから通信系の実験に臨んでほしい。「アンテナがわかる本(なるほどナットク!)」，後藤尚久著，2005年出版」をとりあえず読むことをお勧めする。東工大図書館で借りられる。

### 4.7.2 モノポールアンテナ

モノポールアンテナには幅 5mm, 厚さ 0.1mm のリン青銅のものを用了。長さについては後述するインピーダンスマッチング試験から決定した。リン青銅は錆びる性質があったので, 錆びによる性能悪化を防ぐために市販の金メッキキットを用いて金メッキを行った。「マルイ鍍金工業 めっき工房」というものを購入して利用したが, 非常に簡単で使いやすかったのでおすすめ。図 4.1 にエンジニアリングモデルのモノポールアンテナを示す。



図 4.1: モノポールアンテナ (EM)

### 4.7.3 パッチアンテナ

パッチアンテナは学生で素子設計を行い, 基板製作者に発注して作成した。設計に用いた解析ソフトは ANSYS の HFSS という電磁界解析ソフト。専門書などにアンテナ特性の計算ができる式も乗っているが解析ベースで設計しないとまずいいアンテナはできない。計算式から大まかな寸法の決定→解析によって詳細な寸法の決定という流れ。特に円偏波で用いる場合, 素子寸法は 0.1mm のずれで大きく軸比が変化する。どことは言わないが手加工で円偏波パッチアンテナを作成しているような業者には発注せず, エッチング加工などで製造してくれる業者に発注しよう。パッチアンテナもモノポールアンテナと同様に錆防止のために金メッキを行った。図 4.2 にエンジニアリングモデルのパッチアンテナを示す。



図 4.2: パッチアンテナ (EM)

#### 4.7.4 モノポールアンテナ インピーダンスマッチング試験

本試験はモノポールアンテナのリターンロスを監視しながらモノポールアンテナの長さを調節することによって、モノポールアンテナの長さを決定するために行った。インピーダンスマッチング試験の意味については適宜書籍やインターネットなどで調べて理解していただきたい。試験手順は以下に示す通り。

1. モノポールアンテナを取り付けた衛星を電波暗室計測治具に固定

電波の放射方向への金属材料などは電波を反射しリターンロスとして計測結果に表れてしまうので、絶縁体を使用する。アクリルプレートや 3D プリンターなどで作成。

2. VNA を校正し、モノポールアンテナに接続

VNA はネットワークアナライザのこと。ネットワークアナライザは計測するたびに校正が必要であり、また非常に高価な機材のため、宇宙研などどこかの機関に借りる必要あり。本衛星の計測では東工大電気電子系広川研究室の設備をお借りした。

3. モノポールアンテナをニッパーなどで短く切断していき、長さ対リターンロスの関係を計測

ここで切断するモノポールアンテナは FM として用いるものではないので、どんどん短くしていく。モノポールアンテナを短くしていくとリターンロスが最小となる周波数は大きくなっていくはずなので、その関係を得ることが目的。図 4.3, 図 4.4 に本衛星の計測結果を示す。

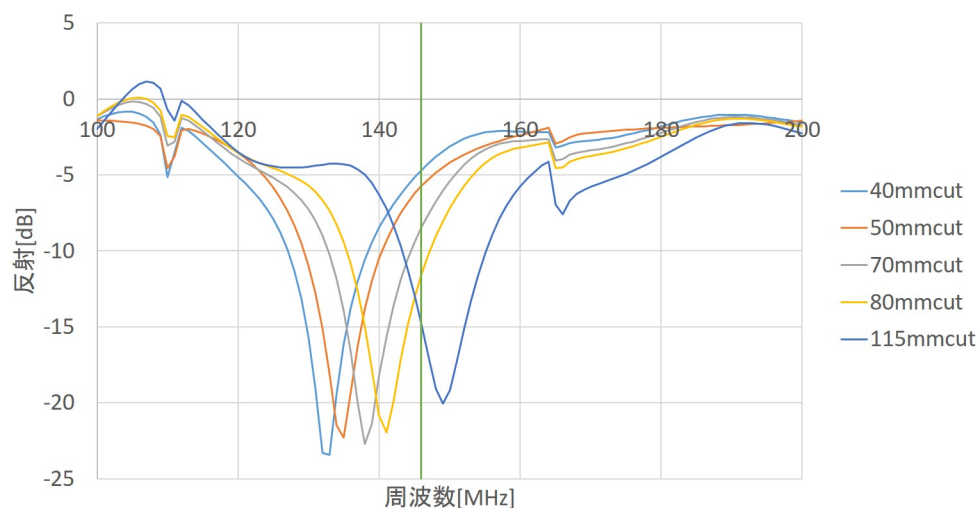


図 4.3: 反射対周波数 (VHF)

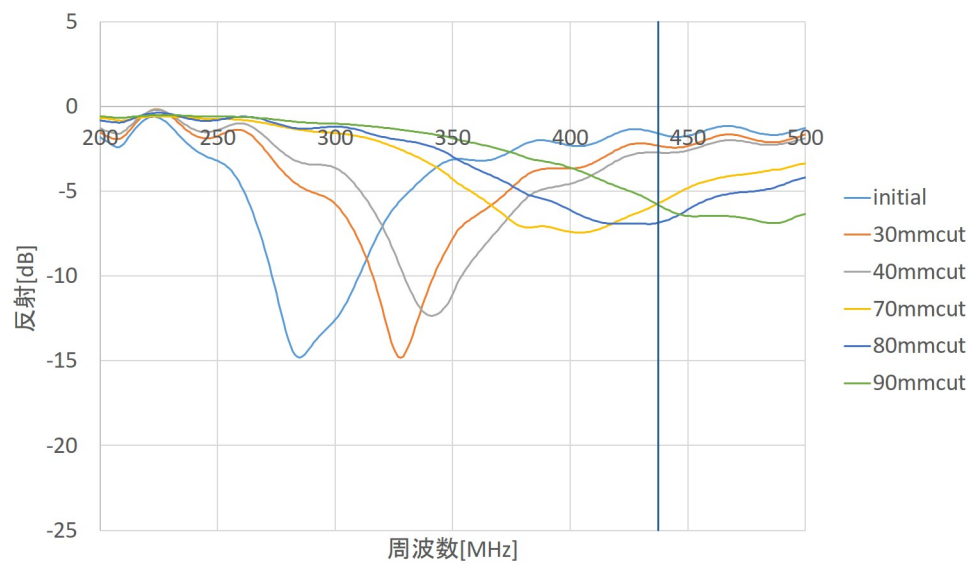


図 4.4: 反射対周波数 (UHF)

4. 線形近似などを用いて，リターンロスが目標周波数で最小となるようなモノポールアンテナの長さを計算

得られたリターンロスが最小となる周波数とモノポールアンテナの長さの関係から適当な近似で目標周波数で最小となるモノポールアンテナの長さを決定する．同じ材料で同じように取り付けられたモノポールアンテナは少なくとも MHz 程度の周波数では同じような特性が得られる．図

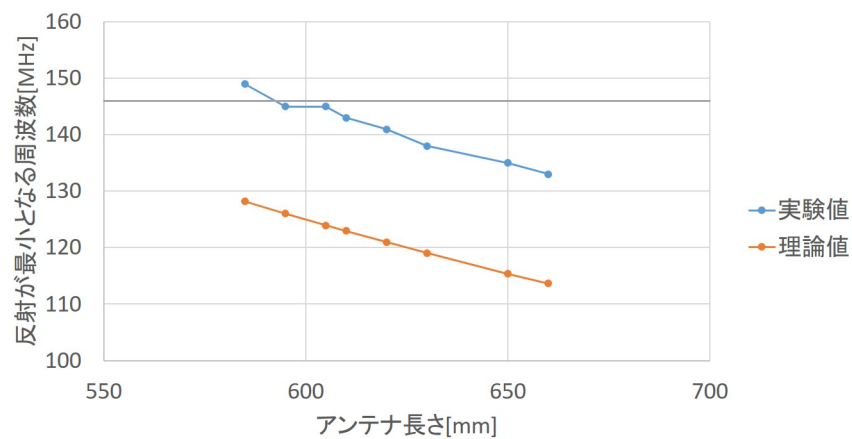


図 4.5: アンテナ長さとしリターンロスが最小となる周波数の関係 (VHF)

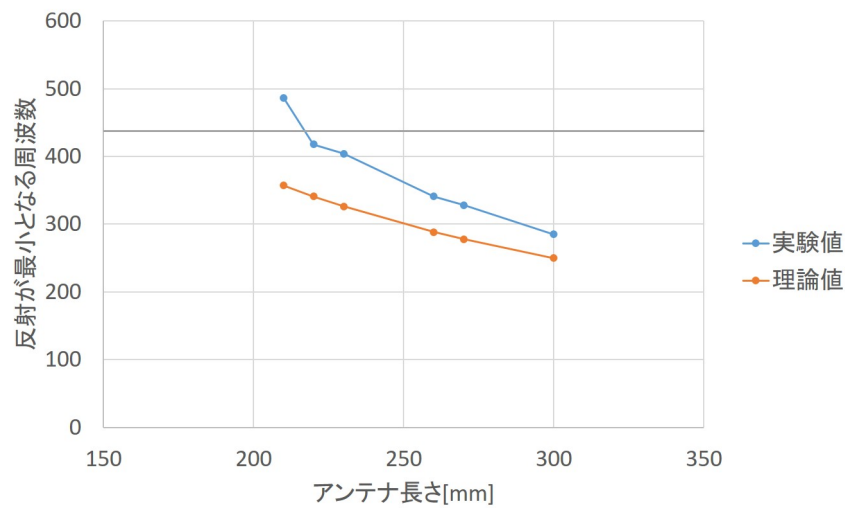


図 4.6: アンテナ長さとりターンロスが最小となる周波数の関係 (UHF)

5. 計算した長さのモノポールアンテナを作成し, 再度電波暗室でりターンロスを計測  
FM として用いるアンテナの反射特性を計測. 図 4.7-4.8 に計測結果を示す.

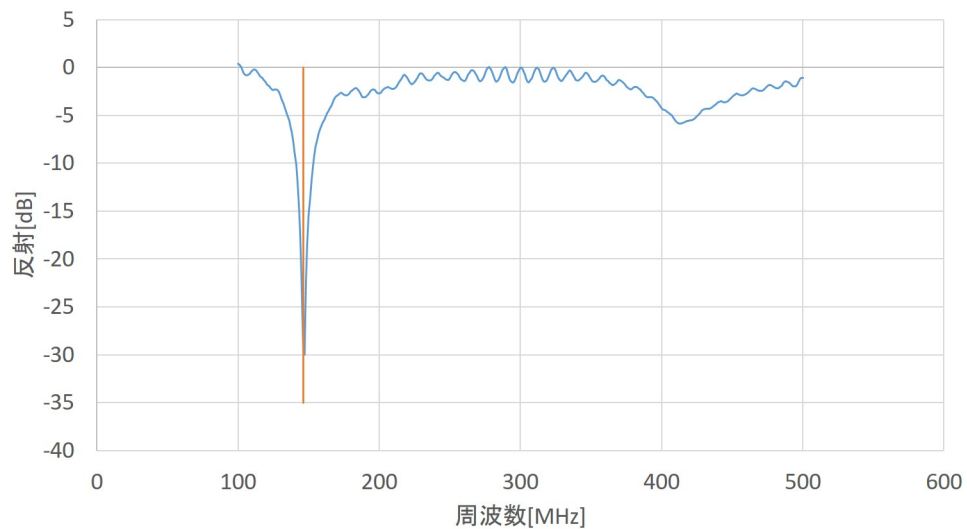


図 4.7: FM モノポールアンテナ反射計測結果 (VHF)

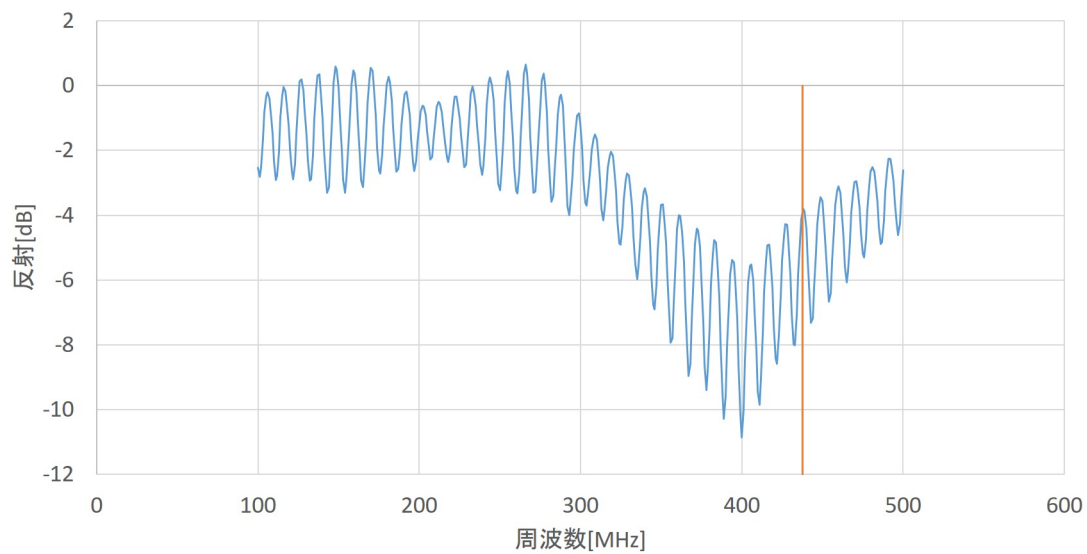


図 4.8: FM モノポールアンテナ反射計測結果 (VHF)

#### 4.7.5 モノポールアンテナ 放射特性試験

本試験ではモノポールアンテナの指向性特性を測定し、健全な指向性を有していることを確認するために行った。計測結果を図 4.9-4.10 に示す。ここでもそもそも水平面、垂直面ともに計測すべきであるが、水平面しか計測していない。このようなことを避けるためにしっかりと勉強しましょう。

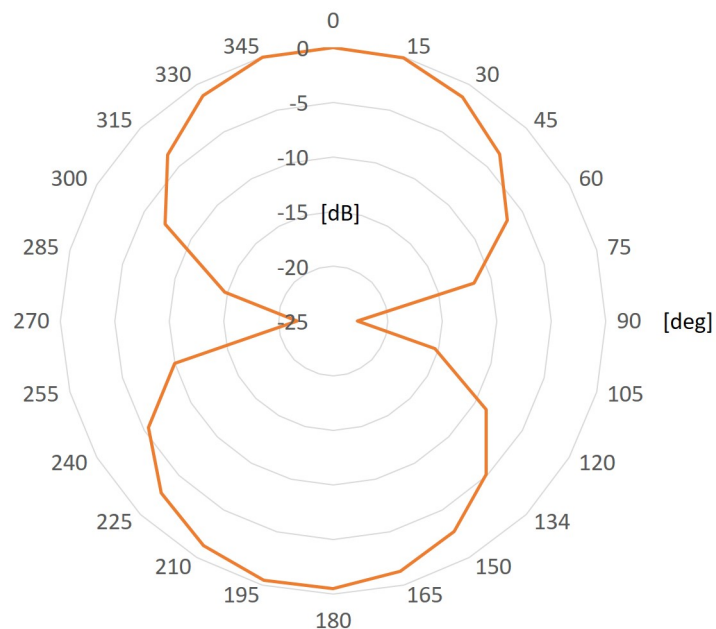


図 4.9: FM モノポールアンテナ H-plane 放射特性 (VHF)

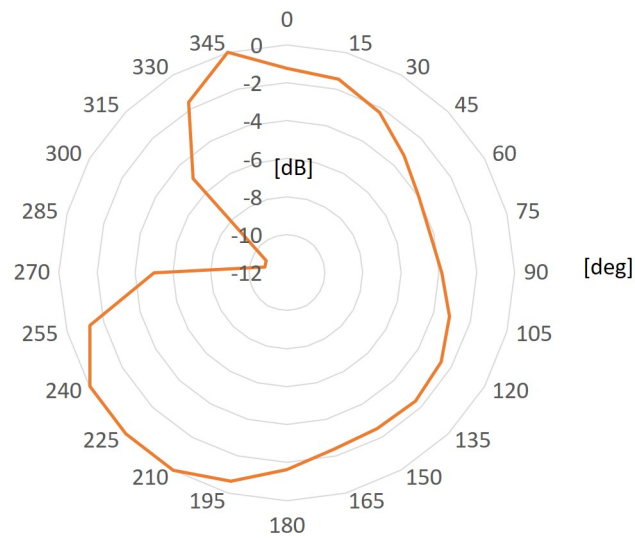


図 4.10: FM モノポールアンテナ H-plane 放射特性 (UHF)

#### 4.7.6 パッチアンテナ 利得・放射特性試験

本試験ではパッチアンテナの利得，軸比，指向性特性を測定し，所望の性能を有していることを確認するために行った。

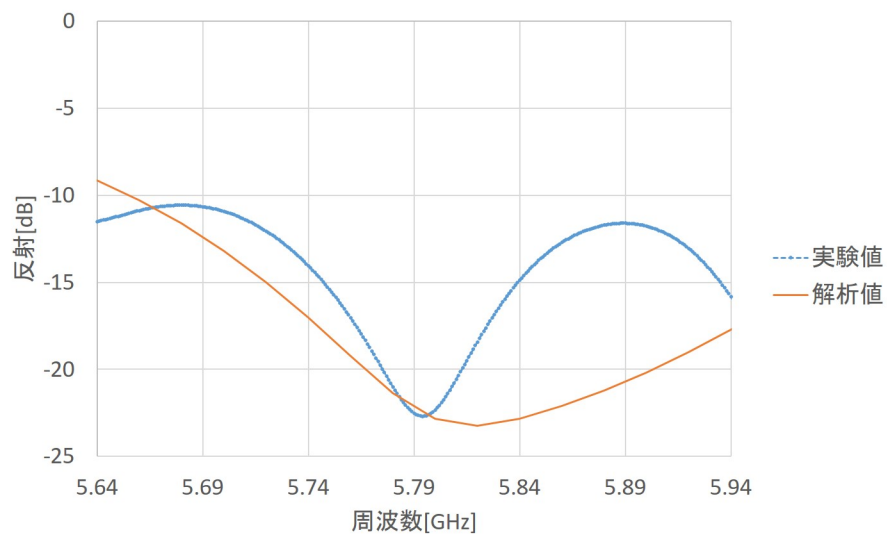


図 4.11: FM パッチアンテナ反射特性

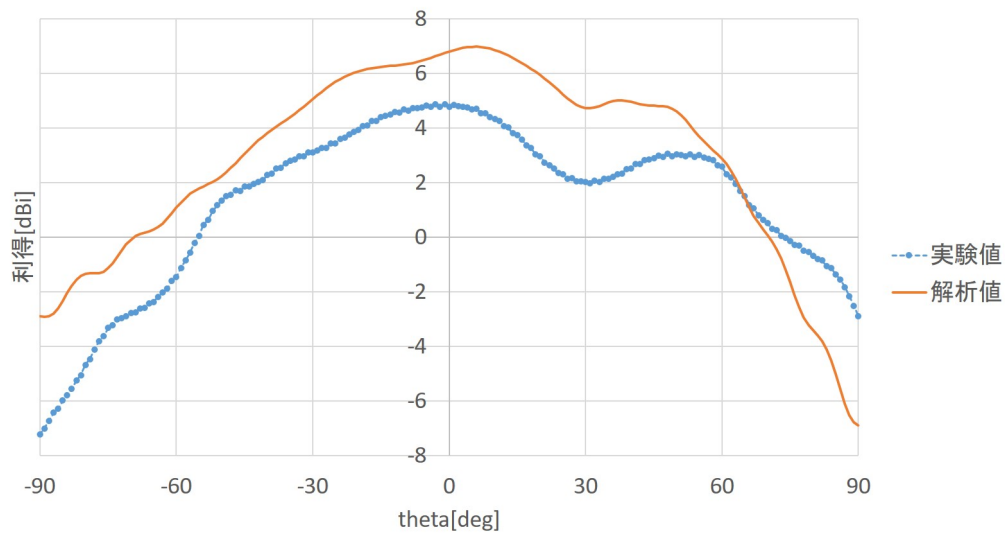


図 4.12: FM パッチアンテナ放射特性

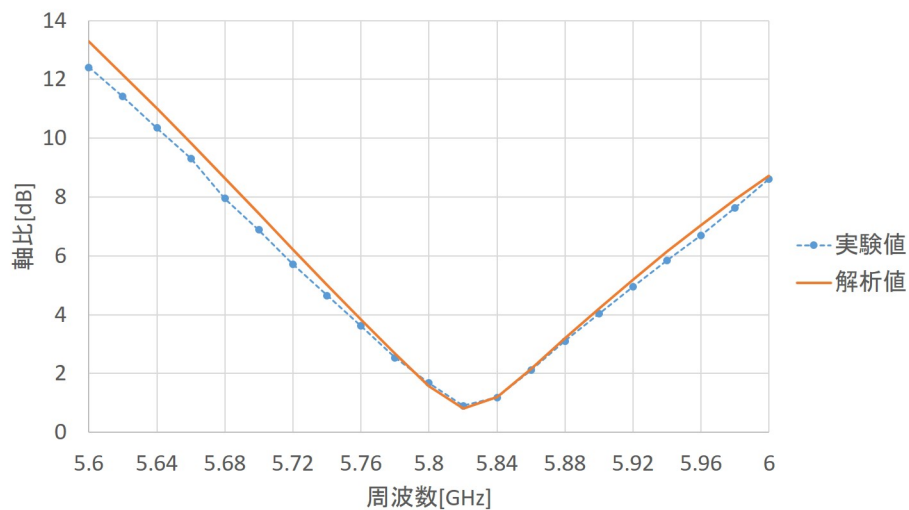


図 4.13: FM パッチアンテナ軸比

#### 4.7.7 長距離通信模擬試験

本試験では、東工大屋上に通信機を設置し、不要電波を漏らさないように適切なアッテネータを取り付けた状態で電波を送信、地上局での受信レベルをスペクトラムアナライザを用いて計測することによって、モノポールアンテナの健全性、東工大地上局設備の健全性を確認することを目的として行った。アンテナの性能は電波暗室試験で計測しており、理屈ではこの試験は必要ないものであるが、気持ちの問題で実施した。



#### 4.7.8 反省点

本衛星の開発でアンテナの特性計測を始めたのは 2017 年度の 12 月からであった。衛星の引き渡しは当初 2018 年度の夏，伸ばしに伸ばして 2018 年度の 11 月であったため明らかにアンテナの特性計測を始めるのが遅かった。最初のころは訳も分からず，校正など全くしていない VNA を用いてグラウンドでリターンロスの計測などをしていた。計測に用いる同軸ケーブルも古びたものを用いており，当然ノイズだらけで計測どころではなく，このような試験のために開発メンバーに苦勞を掛けてしまったことに申し訳なく感じる。当初市販品を利用する予定であったパッチアンテナについても同じ時期に特性計測を初めて行い，円偏波ではなく直線偏波になっていることが分かった。このため，急遽学生でパッチアンテナの設計を行うことになり通信系は非常にドタバタした開発になってしまった。誰も専門家がいないうアンテナという分野について，専門家がいないうという危機感が無さ過ぎたように感じる。後継機の開発などを行う際は設計から開発まで 1, 2 人程度通信系に集中する人間を用意すべきだった。

#### 4.8 熱真空試験（中村）：ベーキングについても言及

#### 4.9 表面あらさ計測（大野・奥山）

#### 4.10 放出試験（大野・奥山）

## 第5章 安全審査（中西・坂本）

5.1 Phase 0/1

5.2 Phase 2

5.3 Phase 3

## 第6章 引き渡し

6.1 コンプライアンスマトリクス（大野・中西）

6.2 内之浦での引渡し（中西・坂本）

## 第7章 運用と不具合解析（加藤？）

7.1 運用（坂本・加藤・井手）

7.2 軌道上データ（坂本・井手・岩崎）

7.3 不具合解析（岩崎・大本）

## 第8章 革新的衛星技術実証プログラムへの参加（坂本）

本文

## 第9章 國際周波数調整（中西）

本文

## 第10章 内閣府宇宙活動法（坂本）

本文

## 第 11 章 物体登録（中西）

本文



## 第12章 プロジェクトマネジメント（池谷・岩崎・大野）

### 12.1 開発日程

### 12.2 人員配置・引継ぎ

## 第13章 付録

- 13.1 システム設計
- 13.2 5.8
- 13.3 構体系
- 13.4 VHF/UHF 展開アンテナ
- 13.5 通信系
- 13.6 C&DH 系
- 13.7 電源系
- 13.8 振動試験
- 13.9 熱真空試験
- 13.10 連続動作試験
- 13.11 引渡し
- 13.12 プロジェクトマネジメント
- 13.13 展開膜
- 13.14 MDC
- 13.15 伸展カメラ部
- 13.16 運用

## 参考文献

# 謝辞

謝辞 本文

2019 年 5 月  
名前