

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	8
第 4 章	統合試験	9
4.1	放射線試験 (寺田 (報告書)・池谷・黒崎)	9
4.2	形状計測試験 (大野・奥山)	9
4.3	振動試験 (加藤・飯島)	9
4.4	衝撃試験 (大野)	9
4.5	連続動作試験 EMver (?)	9
4.6	姿勢制御試験 (恒光)	9
4.7	通信系 機能試験 (大本)	9
4.8	熱真空試験 (中村): ベーキングについても言及	9
4.9	表面あらさ計測 (大野・奥山)	9
4.10	放出試験 (大野・奥山)	9
第 5 章	安全審査 (中西・坂本)	10
5.1	Phase 0/1	10
5.2	Phase 2	10
5.3	Phase 3	10

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

# 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) 三次元計測（飯島・黒崎）

三次元計測システムの処理は大きく分けて以下のような 3 つの工程に分けられる。

工程 A. カメラキャリブレーション（処理 1, 処理 2）

工程 B. 測定対象の撮影（処理 3）

工程 C. 画像処理（処理 4～処理 8）

三次元計測システムのフローチャートを図 3.1 に示す。図 3.1 中では、黒色の四角マークが「処理」、青色のデータマークが「各処理によって作成されたデータ」を示している。

三次元計測システムは処理 1 から処理 9 までの計 9 処理で行われる。（工程 A）カメラのキャリブレーションが処理 1, 処理 2,（工程 B）撮影対象の撮影が処理 3,（工程 C）画像処理が処理 4 から処理 8 に対応している。

工程 A で作成されるデータ（レンズパラメータ, ステレオパラメータ）はカメラの設計値に依存する固有値である。すなわち, 2 度目以降の測定では, 工程 A は省略でき, 工程 B（処理 3. 計測対象撮影）以降のみを行えばよい。ただし, カメラ位置や鏡筒長さを変更してしまった場合はもう一度, 工程 A からやり直す必要がある。

### 三次元計測時に使用するアプリケーション

- (1) GaZooCapture：図 3.1 の「処理 1. チェッカーボード撮影」および「処理 3. 計測対象撮影」で使用する。ステレオカメラは 2 台同時に撮影する必要があるので, PC を 2 台用意し, 各 PC にこのアプリケーションを入れておく必要がある。
- (2) MATLAB：図 3.1 の「処理 2. ステレオキャリブレーション」および「処理 4. レンズ歪み補正」以降の処理で使用。

### GaZooCapture 使用時に関するコメント

- デバイスが認識されないトラブル多々あった。それは接続不良かカメラ自身の故障が原因。接続不良は接続部分がちゃんと接続されているか確認したり, 一度外してもう一度繋げば解決する。カメラ自身の故障はケーブルに張力がかかることが原因。撮影試験の時は, カプトンテープでカメラ本体とケーブルを軽く固定し, ケーブルに張力がかからないように気を付ける。
- 撮影前にはフォーマット（画像サイズ）と画像の保存形式が間違っていないか確認した方がいい。何度か設定をし忘れ, 撮影試験をやり直した。
- クロスラインを表示することができるので必要に応じて適宜使う。クロスラインを使用することで, カメラの取り付けの際に, 2 台のカメラの光軸がずれていないかを確かめることができる。



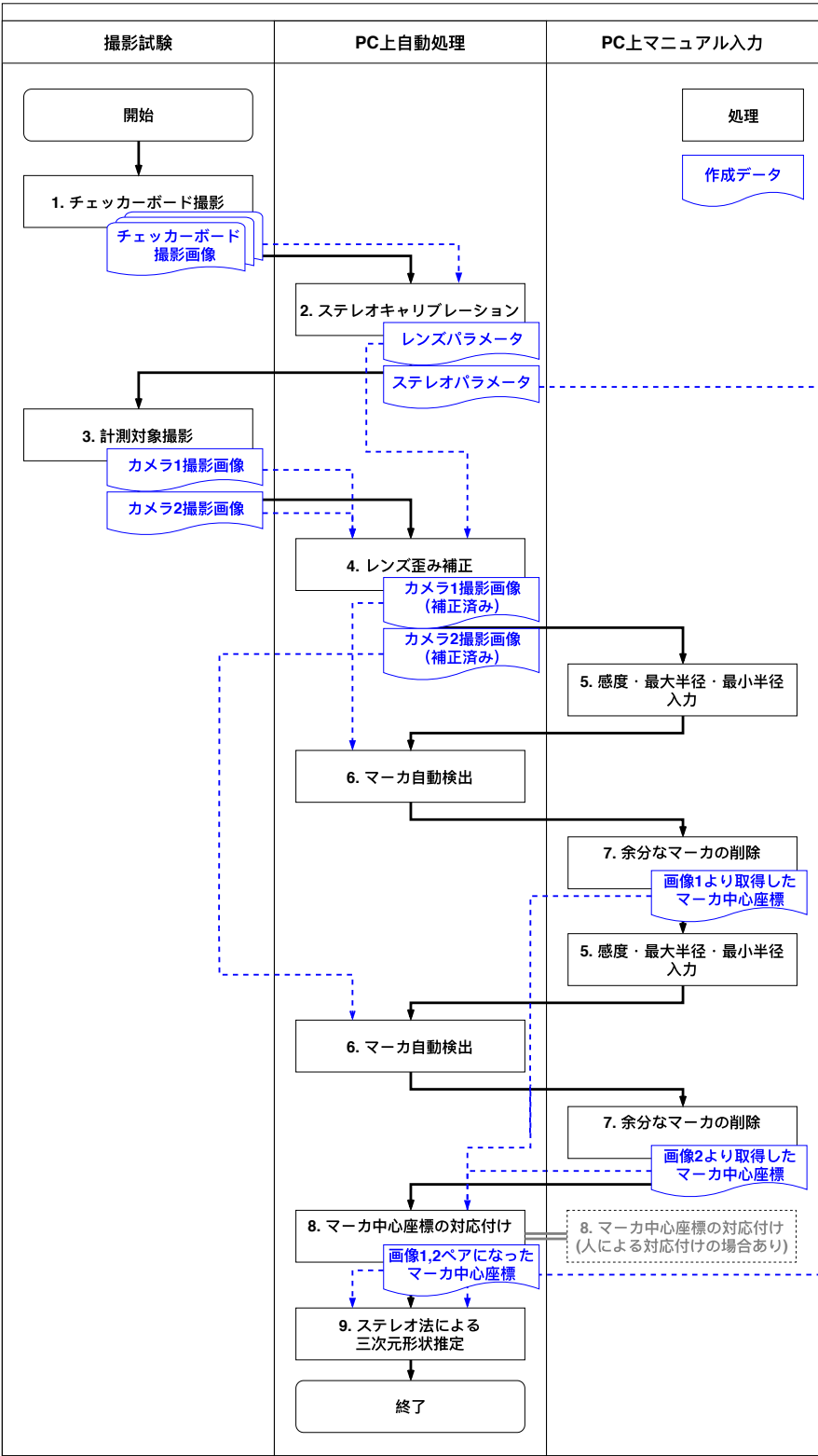


図 3.1: 3次元計測システムフローチャート

以下では各処理の詳細について述べる。

### 1. チェッカーボード撮影

FM カメラのキャリブレーションは、モニターに 13 マス× 19 マスのチェッカーボードを映し出し、様々な角度から撮影。チェッカーボードの画像データは、<https://helpx.adobe.com/photoshop/digital-negative.html#resources> から Adobe Lens Profile Creator をダウンロードし、「¥Adobe.lensprofile.creator\_1.0\_4.win¥lensprofile.creator\_p4.win\_072312¥Adobe Lens Profile Creator 1.0.4¥calibration charts」というフォルダに入っているデータを使用。撮影枚数は 10 枚以上あれば何とかなるが、普段は 15~20 アングルぐらい、最終キャリブレーションは 80 アングル撮影した。

#### コメント

- モニターは解像度の問題があるので、モニターではなく紙に印刷したチェッカーボードを撮影すべきだったかもしれない。紙を使用する場合は、紙がたるまないように注意。モニターと紙のどちらが正解かは分からない。
- 13 マス× 19 マスの 100% 表示は周りに余白ができていて、スペースがもったいないので、余白が無いようにマス目の多いチェッカーボードを 100% 以上で表示させてもいいかもしれない。
- 撮影時、カメラ平面に対してチェッカーボードが 45 度を超えないように注意。45 度を越えた画像が含まれると、キャリブレーション結果が悪くなるらしい。撮影時の注意点は、<https://jp.mathworks.com/help/vision/ug/stereo-camera-calibrator-app.html> の「キャリブレーションの改善」に載っている。

### 2. ステレオキャリブレーション

MATLAB アプリケーション「ステレオカメラキャリブレーター」を使用。オプションは「半径方向歪み: 3 つの係数」「計算: せん断・円周方向歪み」を選択。各設定の詳細は、<https://jp.mathworks.com/help/vision/ug/stereo-camera-calibrator-app.html> の「キャリブレーションの改善」を参考に。

### 3. 計測対象撮影

地上暗室実験では、室内のライトを消し暗室で撮影。アルミフレームむき出しだと LED の明かりによって反射してしまうので、黒い布で隠して撮影を行った。

### 4. レンズ歪み補正

MATLAB 関数「undistortImage」に、「2. ステレオキャリブレーション」で作成されたレンズパラメータと画像データを入力し、画像の歪み補正を行う。

## コメント

- MATLAB ではなく、「Adobe Lens Profile Creator」および「Adobe Photoshop」を使用する方法もあったが、Adobe Lens Profile Creator の設定がよく分からず、誤差が大きくなってしまったことから MATLAB のみを使用していた。ただ、まだ完璧に歪みを補正できている訳ではなさそうなので、専門家に確認した方がいいかもしれない。

## 5. 感度・最大半径・最小半径を入力

処理 6「マーカ自動検知」において、MATLAB 関数「`imfindcircles`」を使用する場合は事前に、感度，最大半径，最小半径を入力する必要がある。

## コメント

- 感度：0.85 としていた。1つのマーカに対して多重検知してしまう場合は、感度の値を小さくする（0.7 ぐらい）ことによって、解決することができた。
- 最大半径・最小半径：被写体距離によって変わる。画像上においてマーカ直径が何ピクセルかを事前に確認しておき、 $\pm 1 \sim 5$  ピクセルぐらいに設定していた。
- 感度，最大半径・最小半径によってマーカの中心座標検知精度が変わりそうな気がするので、三次元形状計測精度に関する研究を行う場合は、この3つの数値を気を付ける必要あり。

## 6. マーカ自動検出

MATLAB 関数「`imfindcircles`」を使用。

## 7. 余分なマーカの削除

格子状配置マーカ対応付けプログラム，旧ランダム配置マーカ対応付けプログラムの場合は，余分なマーカを削除して，画像 1 と画像 2 のマーカ数と配置を揃えなければならない。新マーカランダム配置対応付けプログラムの場合は，マーカ以外の変なところを誤検知している場合は削除する必要があるが，マーカ数と配置を完全に一致させる必要はない。

## 8. マーカ中心の対応付け

(a) 格子状配置マーカ対応付けプログラムと (b) ランダム配置マーカ対応付けプログラムの 2 種類がある。

## 9. ステレオ法による三次元形状計測

MATLAB 関数「`triangulate`」を使用。

(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）
- 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 国際周波数調整（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