

第4章

熱真空試験

4.1 試験適用範囲

4.1.1 適用範囲

本計画書は、福岡工大衛星「FIT-SAT」のライトモデル（以下、FMと称す）の熱真空試験について適用する。

4.1.2 福岡工大衛星「FIT-SAT」について

本衛星「FIT-SAT」は、質量：1.33 [kg]、サイズ：縦 100 [mm] × 横 100 [mm] × 高さ 113.5 [mm] の立方体である。この衛星は、高度：約 400km、軌道傾斜角：約 52 度の軌道を約 100 日間飛行し、以下のミッションを目的としている。

①メインミッション：衛星用高速モジュールを用いて衛星画像を地上に伝送すること。

②サブミッション：衛星から光を発光させ地上から観測すること。

今回の熱試験実施のために行った計算では、衛星は約 92 分で地球を 1 周することがわかった。さらに、予測される軌道から太陽光が常に当たる軌道（日陰率=0 の軌道）を考えた。この軌道より、軌道上での衛星の温度の最高点を計算した。計算より求めた温度を用いて試験を行う。

4.1.3 供試体

本試験の供試体を図 4.1、表 4.1、に示す

表 4.1 供試体

番号	品目	数量	備考
1	FIT-SAT ライトモデル(FM)	1 式	

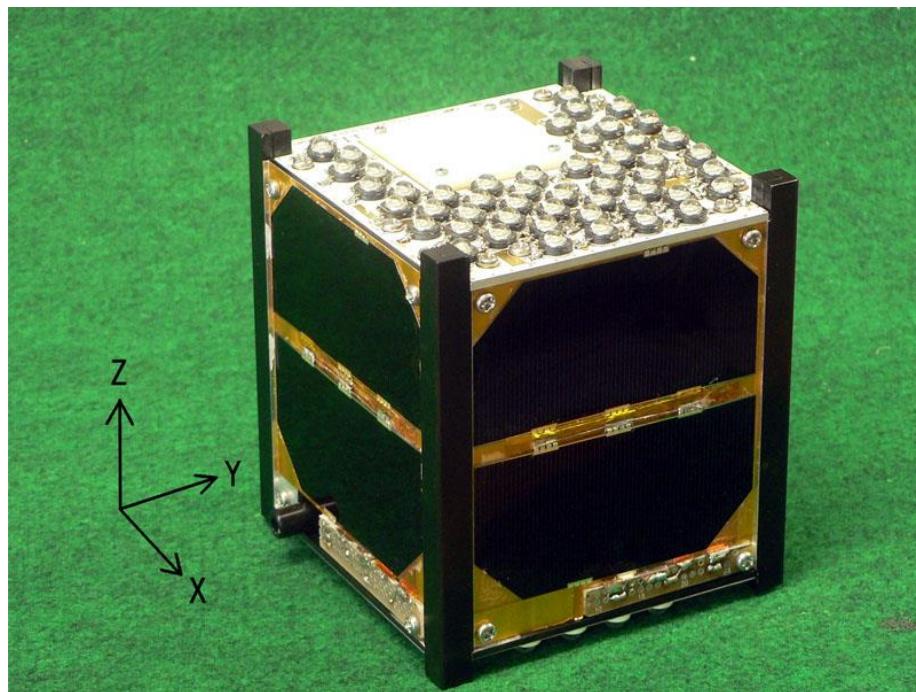


図 4.1. ライトモデル (FM)

4.2 試験概要

4.2.1 試験場所

九州工業大学 超小型衛星試験センター

4.2.2 試験日程

2012年4月23日(月) 5月22日(火)～5月23日(水)

4.2.3 試験目的

本試験は、FIT-SAT の FM について以下の項目を目的として実施した。

- 1) 衛星各部の温度測定。
- 2) アンテナ展開機構の動作確認。
- 3) LED 発光装置の動作確認。
- 4) バッテリーの充放電動作確認。
- 5) 通信機器での通信動作確認
- 6) 高真空中での 6 時間以上の保持

4.2.4 試験フロー及び試験スケジュール

本試験の試験フローを表 4.1,3 に示す。

4.2.5 合否判定基準

合否判定基準は以下に示す。

- 1) 外観検査
試験終了後の外観検査により、有害な変形、損傷等がないこと（外観目視検査）。
- 2) アンテナ展開機構の動作確認
試験中および試験終了後、アンテナを展開させることができること。
- 3) LED 発光装置の動作確認
真空・常、低温状態、試験終了後で 1 分間以上の点灯ができること。
- 4) バッテリーの充放電の性能確認
試験中、放電が可能であること。（※今回は、LED 点灯によって確認する。）
試験終了後、大気中バッテリーが正常に充放電を繰り返せること。
- 5) 通信機器の通信動作確認
試験中および試験終了後、437[MHz]通信機器の通信を受信機で受信が確認できるか。
- 6) 高真空中保持
高真空中で 6 時間以上の保持が出来ているかを、計測機器を使って確認する。

表 4.1 試験フロー高温（簡易）

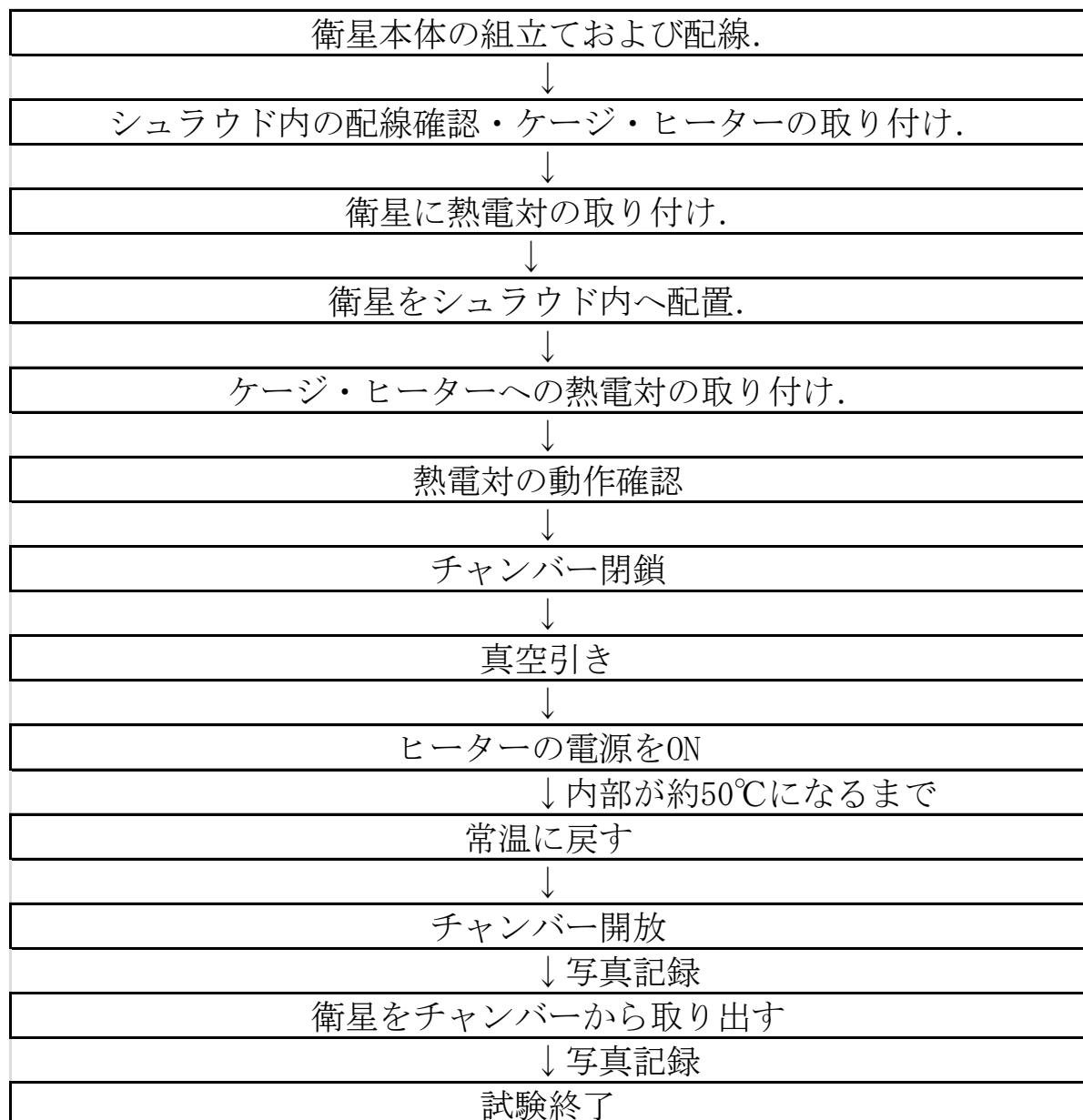
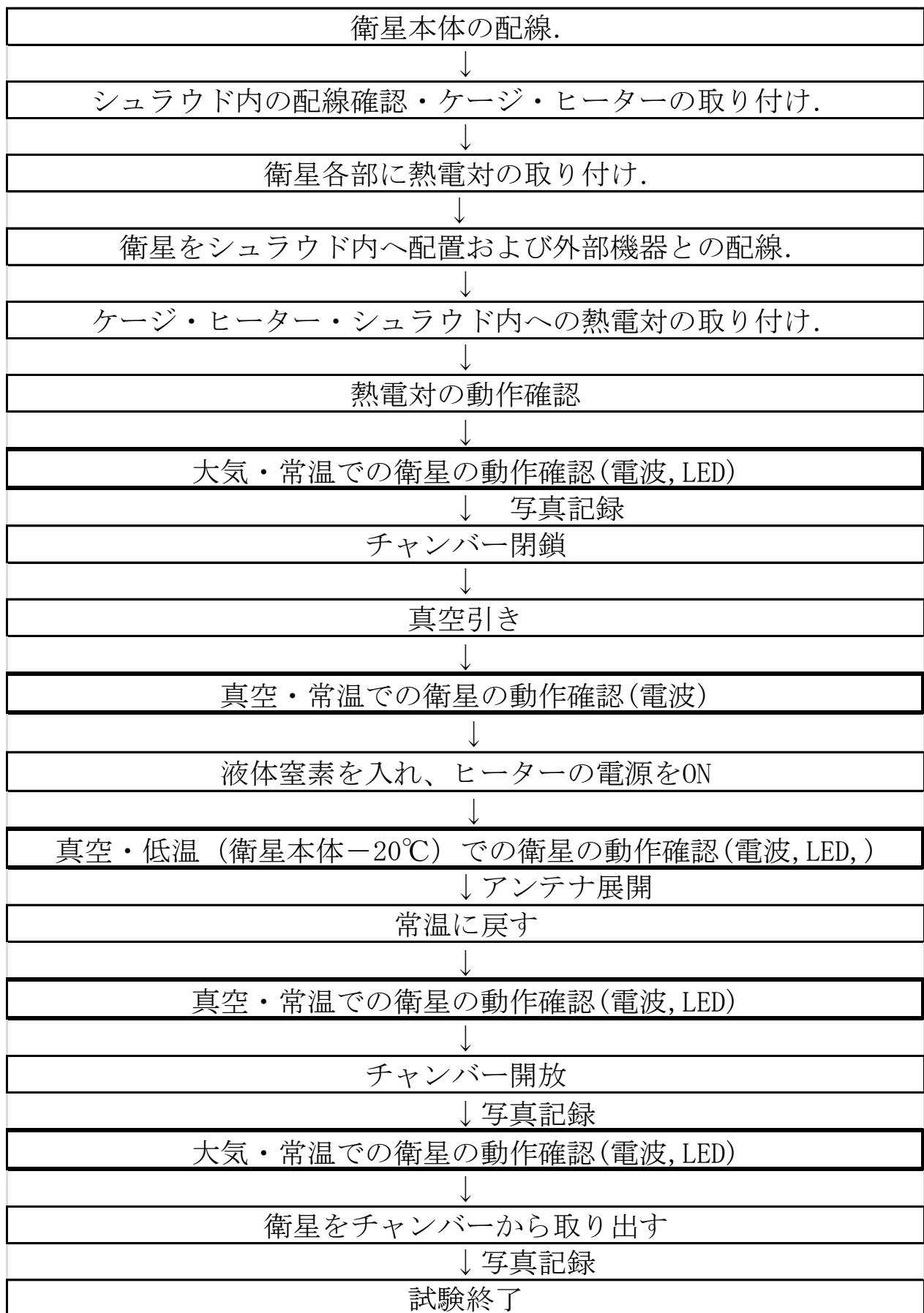


表 4.2 試験フロー低温（簡易）



4.3 試験方法

4.3.1 热試験概要

供試体を热真空試験機内に配置し、真空状態にして高温の熱入力を与える。試験では以下に示す確認を行い、異常時には迅速な停止などの措置をとる。

1) 試験前の確認

- ・衛星およびケージ・ヒーターなどの目視による外観の検査を行う。
- ・大気中での衛星の動作チェックを行い、機能に異常のないことを確認して結果を記録する
- ・熱電対の取り付け位置を記録する。
- ・熱電対の動作チェックを行い、機能に異常がないことを確認する。
- ・ヒーターの動作チェックを行い、機能に異常がないことを確認する。

2) 真空引き後の確認

- ・真空・常温状態での衛星の動作チェックを行い、機能に異常のないことを確認して結果を記録する。

3) 真空・高温状態での試験時の確認

- ・真空・高温状態での衛星の動作チェックを行い、機能に異常のないことを確認して結果を記録する。
- ・試験中に、衛星の機器およびヒーターなどの故障・異常が発生し、危険状態となったときは迅速に試験を停止する。

4) 真空・低温状態での試験時の確認

- ・真空・低温状態での衛星の動作チェックを行い、機能に異常のないことを確認して結果を記録する。
- ・試験中に、衛星の機器およびヒーターなどの故障・異常が発生し、危険な状態となったときは迅速に試験を停止する。

5) 热真空試験後の確認

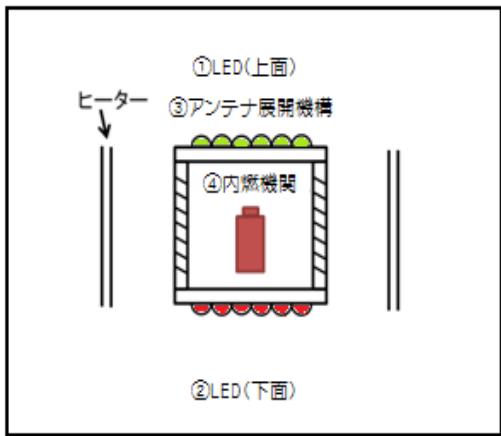
- ・真空・常温、大気中での衛星の動作チェックを行い、機能に異常のないことを確認して結果を記録する。
- ・衛星およびケージ・ヒーターなどの目視による外観の検査を行う。

6) 高真空中保持

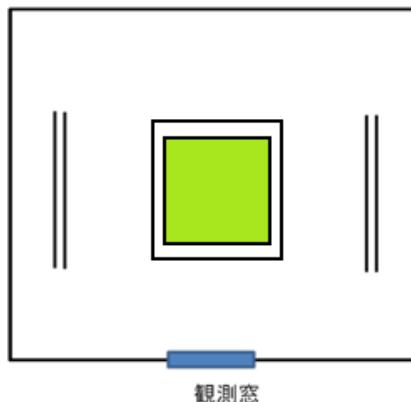
- ・高真空中 1×10^{-2} [Pa]になった時間を記録し、その時間から 6 時間高真空中が、保たれているかを計測機器で見て記録していく。

4.3.2 試験の構成

热真空試験機の構成を図 4.2 に示す。



(a) チャンバー正面



(b) チャンバー上面

図 4.2 チャンバー内の構成

4.3.3 試験条件

今回の試験での試験条件を以下に示す.

1) 真空・常温試験

真 空 度 : $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4}$ [Pa]

温 度 : 25~30 [°C]

2) 真空・高温試験

真 空 度 : $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4}$ [Pa]

温 度 : 50 [°C]

3) 真空・低温試験

真 空 度 : $1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4}$ [Pa]

温 度 : -20 [°C]

4.3.4 衛星の各部の温度測定

チャンバー内で衛星に取り付けた熱電対から PC でデータを読み取り, 温度変化の測定を行う.
今回は, 衛星の 2 か所の温度を測定した. 表 4.2,4 に熱電対の取り付け位置を示す.

表 4.2 热電対の取り付け位置(高温)

チャンネル番号	熱電対取り付け位置
1	支柱 (左前 中段)
2	支柱 (左前 上段)
3	支柱 (右後 上段)
4	支柱 (右後 中段)
5	ヒーター (右)
6	
7	ヒーター (左)

表 4.3 熱電対の取り付け位置(低温)

チャンネル番号	熱電対取り付け位置
1	支柱 (右前)
2	支柱 (左後)
3	支柱 (右中)
4	支柱 (左中)
5	ヒーター (右)
6	ヒーター (左)
7	テフロンブロック
8	シュラウド (下)
9	シュラウド (中)
10	シュラウド (上)

4.3.5 アンテナ展開試験

宇宙環境を模擬した中で、実際のミッションでアンテナ展開が最も困難と思われる、低温時にアンテナを展開させ、展開機構が作動するかを確認する。確認方法は、目視で行う。

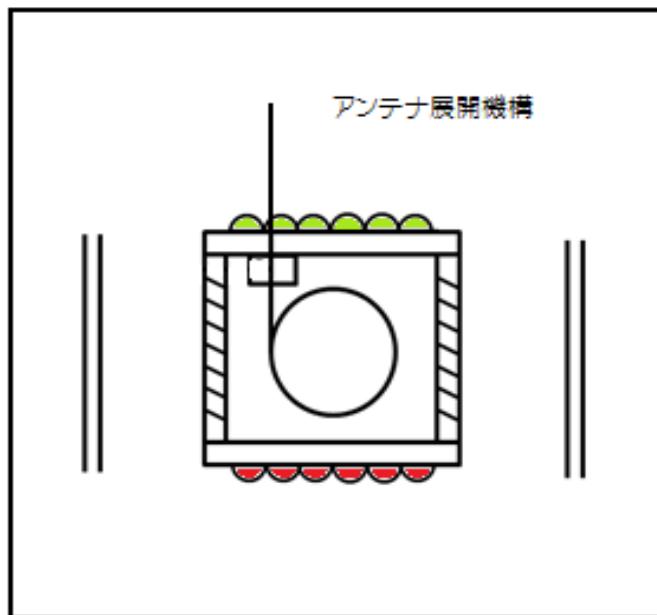


図 4.3 アンテナ展開試験

4.3.6 LED 発光試験

宇宙環境（真空・常温・低温）を模擬した中で LED 装置の動作確認を行う。バッテリーより LED 装置に電力を与え、LED を 1 分間発光させる。

確認方法は、真空チャンバーに設けられた観測窓より目視で行う。点灯の異常が見られないか確認する。

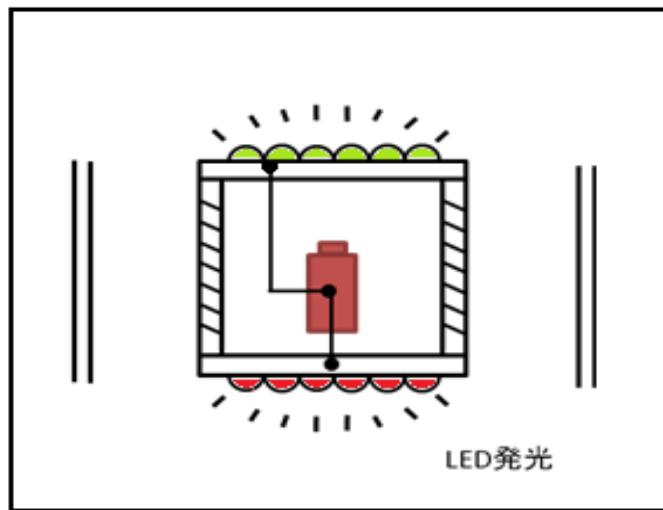


図 4.4 LED 発光試験

4.3.7 バッテリー充放電試験

熱シールドを施したバッテリーを入れ、熱真空試験中と終了後にバッテリーの性能の確認を行う。放電性能は、試験方法 3) LED 発光装置の動作確認実験、通信の時に放電を行う。また充電は、試験終了後充電性能に異常がないか確認する。

4.3.8 通信機器での通信試験

熱真空試験中、437[MHz]帯での通信を行い、異常がないかチェックする。通信は、ビーコンについて行う。

4.3.9 高真空中での 6 時間以上の保持

真空試験中に、高真空が保たれているか計測機器を使い、常に確認する。

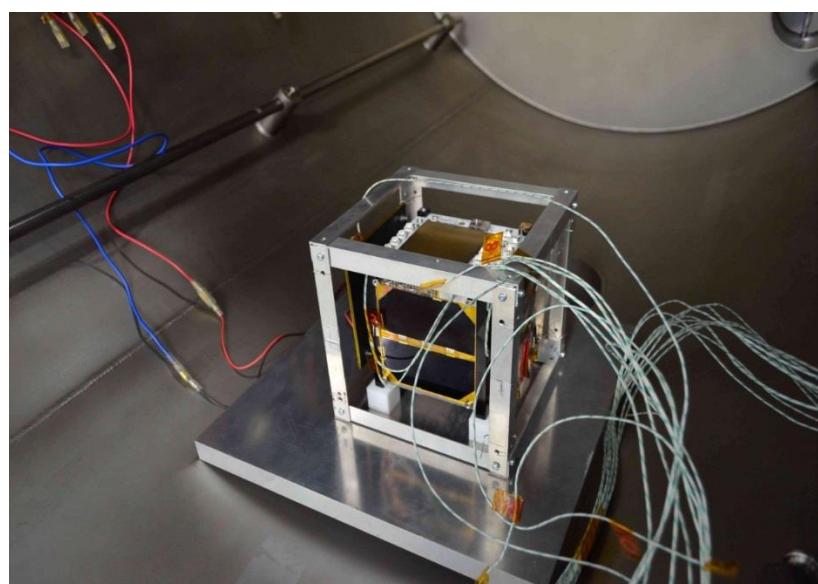


図 4.6 チャンバー内の様子(高温)

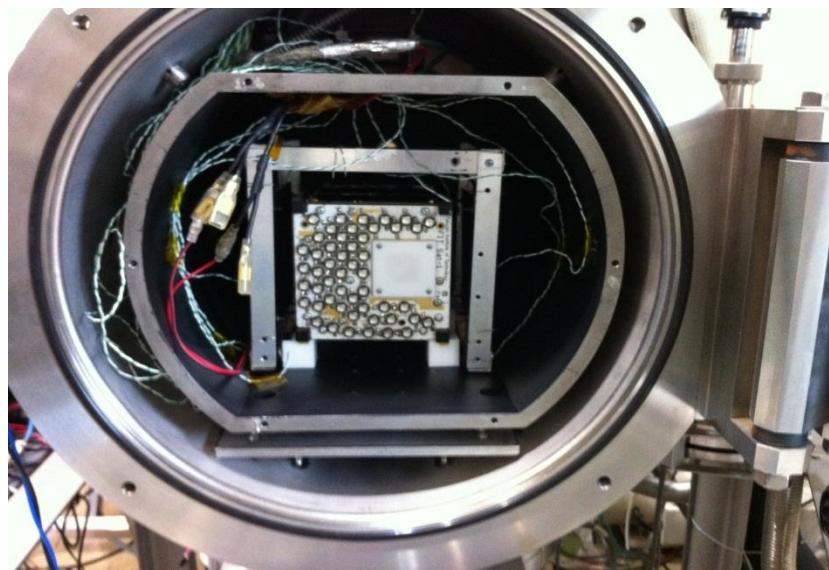


図 4.7 チャンバー内の様子(低温)



図 4.8 チャンバー全体(高温)

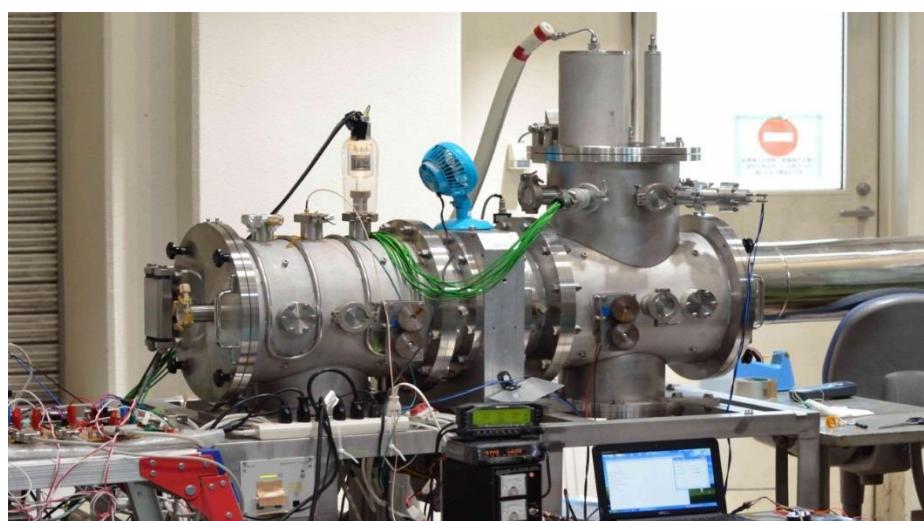


図 4.9 チャンバー全体(低温)

4.4 試験結果

4.4.1 衛星の各部の温度測定

チャンバー内で取り付けた熱電対のデータを以下の図 4.10～12 に示す。

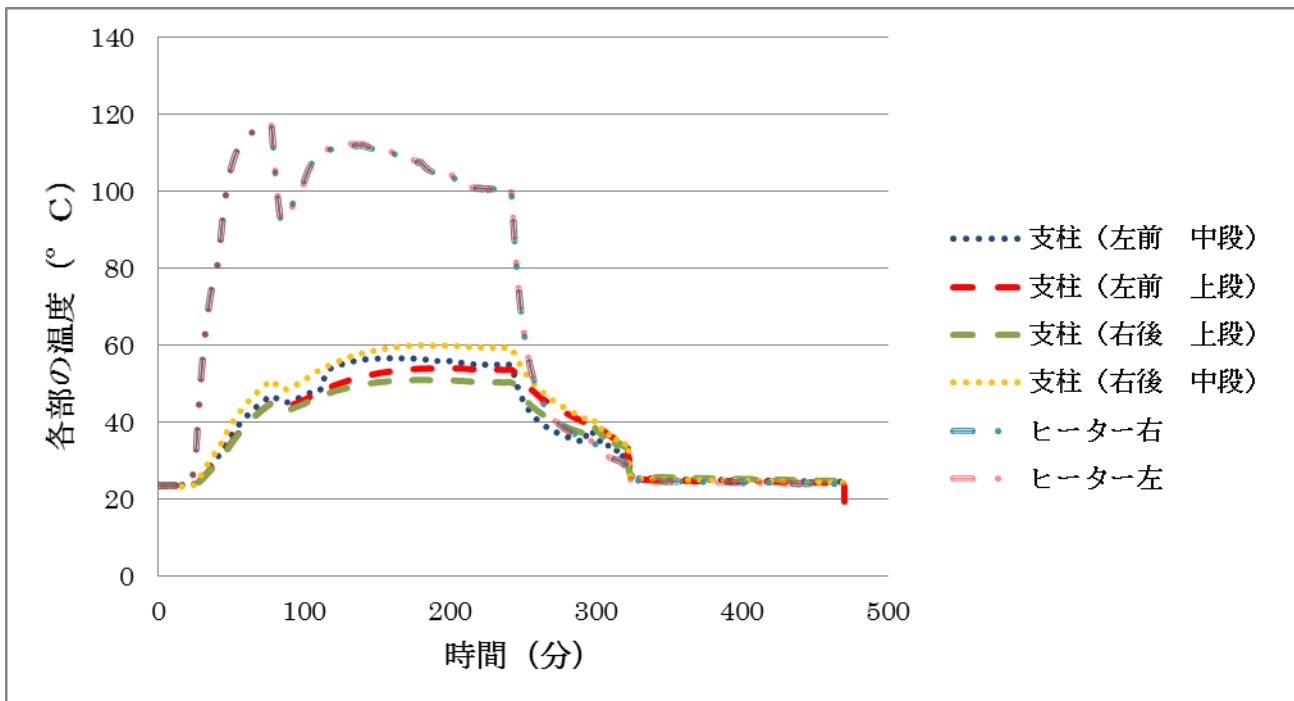


図 4.10 热電対による温度測定結果(高温)

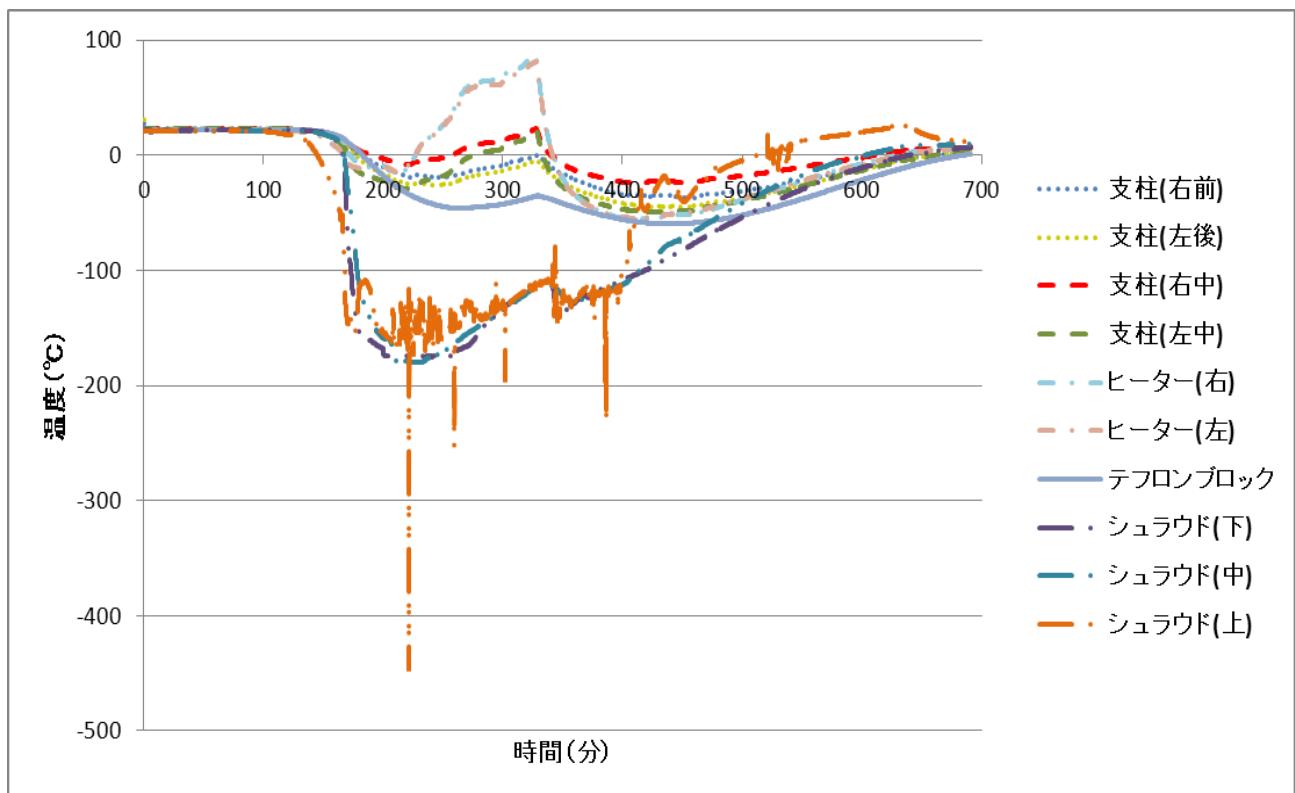


図 4.11 热電対による温度測定結果(低温)

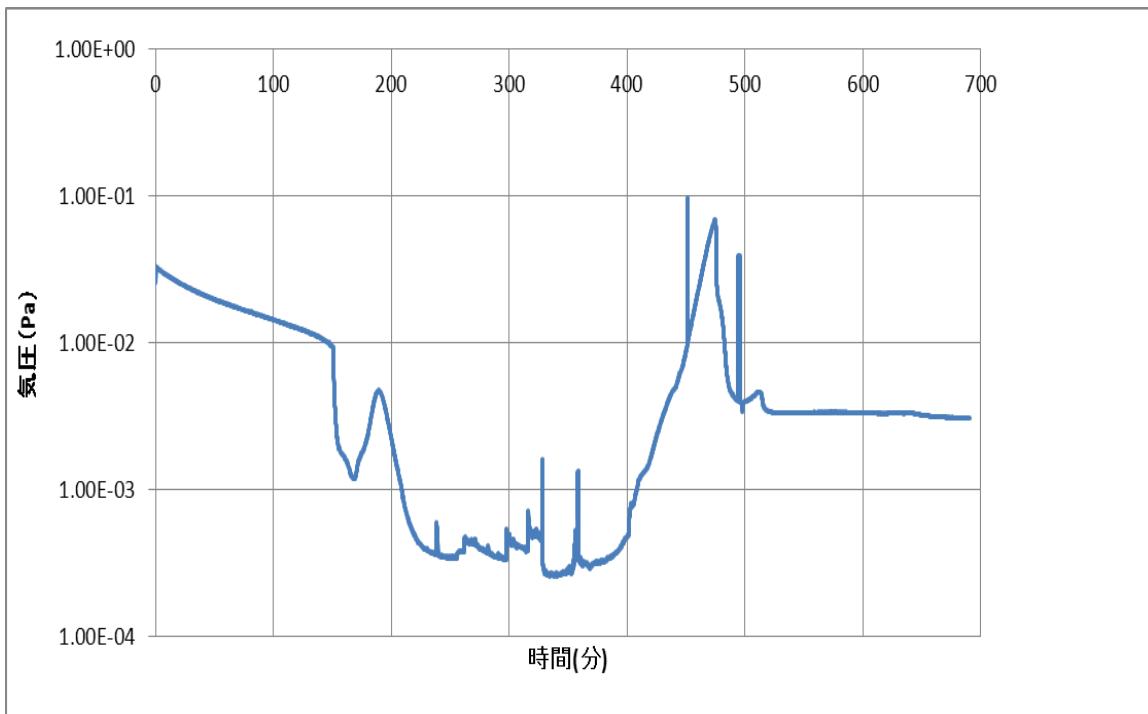


図 4.12 真空度(低温)

4.4.2 アンテナ展開試験

アンテナ展開機構の試験結果を以下に示す。

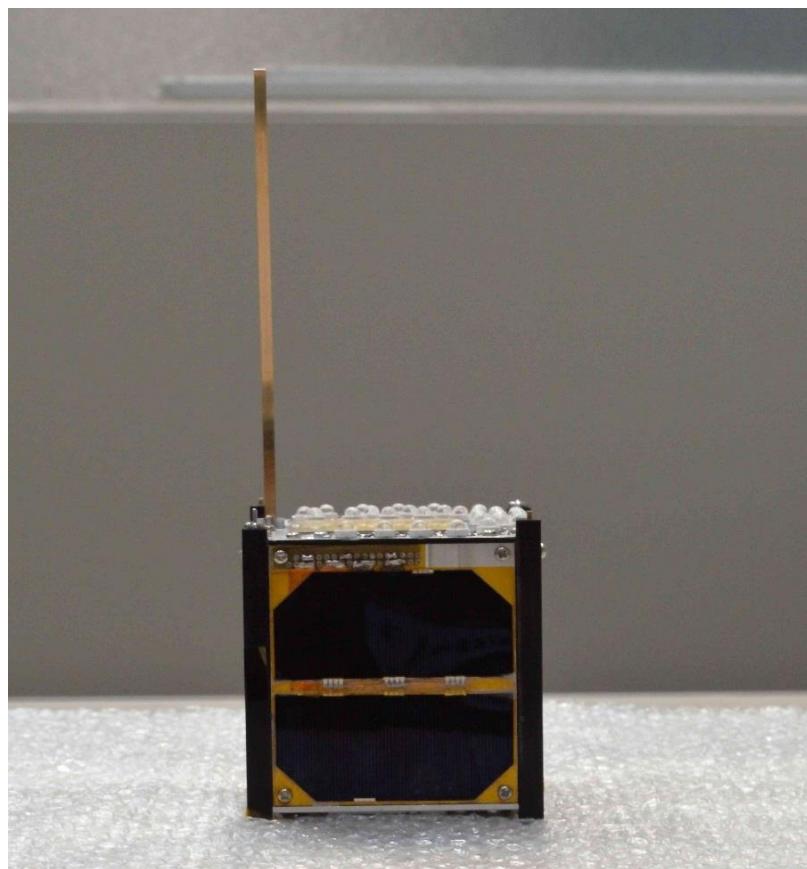


図 4.13 アンテナ展開(衛星取り出し直後)

4.4.3 LED 発光実験

LED 発光の結果を以下に示す.

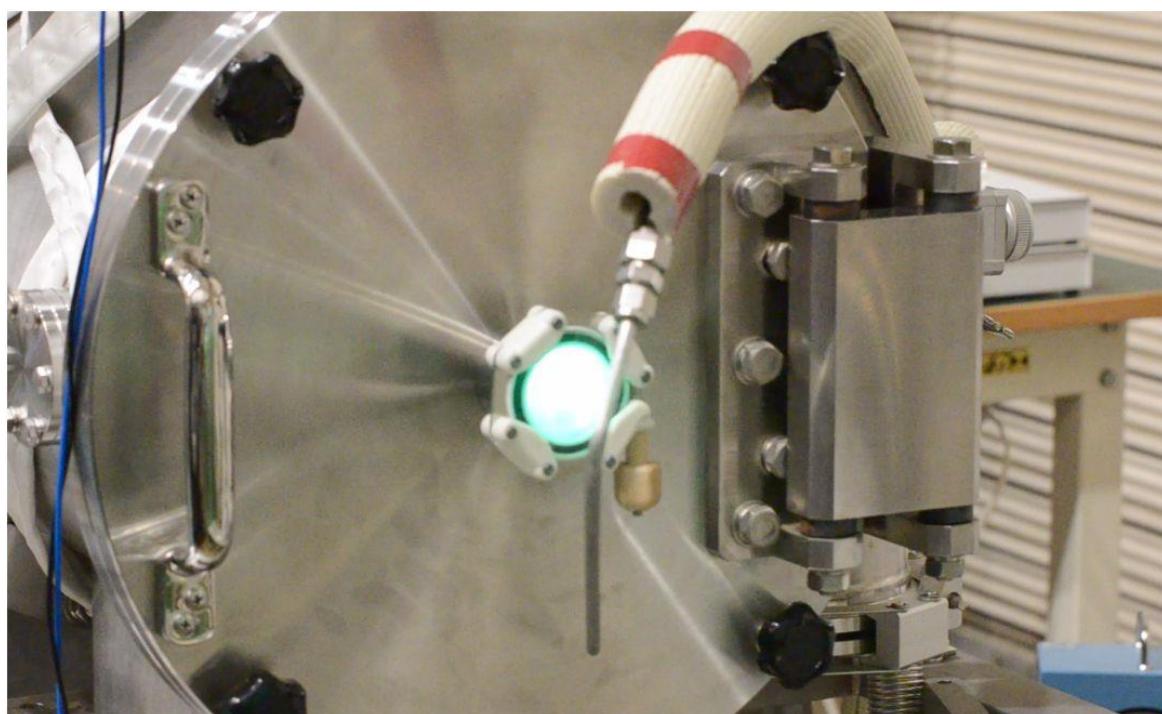


図 4.14 観測窓から見た LED 点灯の様子

4.4.4 バッテリー充放電試験

熱試験前に予めデータロガーを用いて,充放電特性を調べ,試験後の値と比べて特性に変化がないことを確認した.

4.4.5 437MHz 通信機器での通信試験

通信は受信機器を使用して, 約 30 分毎に信号を受信した.

4.4.6 試験結果 (まとめ)

今回の熱真空試験では, FM を高真空中に 6 時間以上晒す事ができ, 真空下(高,常,低)での動作確認も正常に行うことができた.また試験前後に,バッテリー充放電,その他の動作も正常に行うことが出来た.

表 4.4 試験結果

		動作環境			
動作確認		大気・常温	真空・常温	真空・高温	真空・低温
カメラ	○	○			○
アンテナ展開	○				○
LED発光	○	○			○
通信(ビーコン)	○	○	○		○
通信(パケット)	○				

4.5 試験実施体制

表 4.5 人的配置(高温)

試験監督	九州工業大学
熱試験機・試験機器操作	福岡工業大学
試験後の外観チェック	福岡工業大学

表 4.6 人的配置(低温)

試験監督	九州工業大学
熱試験機・試験機器操作	九州工業大学
試験後の外観チェック	福岡工業大学
通信機器検査	福岡工業大学
データ取得	福岡工業大学

4.6 使用機器及び器具

表 4.7 試験装置(高温)

項目	スペック
名称	LEOチャンバー
サイズ	直径1.0m × 長さ1.2m
到達真空度	1×10^{-4} (Pa)
排気系	ターボ分子ポンプ+ロータリーポンプ
主な付随実験設備	プラズマ源(ECR型、ガス種:キセノン、酸素、電子温度1.0eV、プラズマ密度 $1 \times 10^{12} m^{-3}$) ベーキング用IRランプ 液体窒素シュラウド(50cm × 50cm × 50cm)

表 4.8 試験装置(低温)

項目	スペック
名称	真空熱衝撃試験装置
メーカー	アルパック九州株式会社
寸法	全長1000(角槽) × φ 300
材質	SUS304
真圧度	$1 \times 10^{-2} \sim 1 \times 10^{-4}$ [Pa]
試験	レール無: 熱真空試験、熱平衡試験 レール有: 熱衝撃試験
熱入力	レール無: 低温(シュラウド)、高温(シートヒーター) レール有: 低温(シュラウド)、高温(IRランプ)
搭載寸法	レール無: 200 × 150 × 150 レール有: 100 × 100 × 100
測定	K型熱電対 10CH ワイヤレス熱電対 10CH
特徴	低温、高温槽に分かれている チャンバー内部で衛星を移動させることで、急激な熱入力の変化模擬可

表 4.9 热真空試験時に使用したもの(高温)

No	品名	数量
1	FIT-SAT(FM)	1
2	ケージ	1
3	ヒーター	2
4	測定機器	1
5	パソコン	1
6	熱電対	7
7	一眼レフ	1
8	カプトンテープ	1
9	計画書	3
10	熱真空試験機	1

表 4.10 热真空試験時に使用したもの(低温)

No	品名	数量
1	FIT-SAT(FM)	1
2	ケージ	1
3	ヒーター	2
4	測定機器	1
5	パソコン	1
6	熱電対	10
7	一眼レフ	1
8	カプトンテープ	1
9	計画書	3
10	熱真空試験機	1
11	ダミーアンテナ	1
12	信号受信機器	1
13	無線機	1
14	電子制御回路	1