

一番星へ行こう！ 日本の金星探査機の挑戦 その10 ～フライトモデル総合試験～

大月 祥子¹，あかつきプロジェクトチーム

(要旨) 金星探査機「あかつき」(PLANET-C)のフライトモデル総合試験が2009年6月～2010年3月に実施された。それぞれに開発・試験されてきた各機器を集め、衛星を組み立てた上で様々な試験を行った。ここでは打上げ前の最終段階にある衛星に実施する総合試験がどのようなものであるかを知っていただくため、多岐にわたる試験の中から、電気試験、性能評価試験、環境試験の一部を時間の流れに沿って紹介する。

1. はじめに

金星探査機「あかつき」のフライトモデル総合試験は、2009年6月～2010年3月にかけて宇宙航空研究開発機構相模原キャンパスで行われた。金星大気探査計画は1998年に検討を開始し、2001年にミッション提案、2004年にJAXAプロジェクトに昇格、2008年に一次噛み合わせ試験[1]と進み、ついにこの2010年初夏の打ち上げに向けて最終段階の試験を迎えた。

総合試験では、それぞれに開発・試験・調整されてきた各機器を集め、衛星を組み立てた上で様々な試験を実施した。その内容は、機器の外観検査、機器間の電氣的・機械的インターフェースの確認、重心・慣性性能率の測定、運用シミュレーション、打ち上げ時の振動衝撃への耐性の確認、太陽電池パドル展開のワイヤカッター点火試験、姿勢センサや推進機のアライメント測定、蓄電池の容量確認など多岐にわたる。

ここでは、9ヶ月以上に渡る総合試験をその作業風景とともに報告する。なお、長きにわたってPLANET-Cというプロジェクト名で呼ばれてきた金星探査機は、2009年10月に「あかつき」という日本語名を与えられた。本稿ではこちらの名称を使用する。

2. 搬入～試験準備

2009年6月1日、相模原キャンパスの飛翔体環境試験棟に金星探査機あかつきの衛星構体が運び込まれ、長い総合試験が幕を開けた(図1)。続いて各機器・部品も搬入され、まずはそれぞれ単体での外観検査が行われた。

衛星構体は、観測用カメラを始めとする様々な機器を取り付ける上部パネルと、構体全体を支えるスラストチューブや燃料タンク・姿勢制御用推進機などを取り付ける下部構造から成り立っている。外観検査を終えた機器は順次この上部パネルへと取り付けられる。図2は三枚屏風状に設置した上部パネルに、2 μ mカメラ(IR2)を取り付けている様子である。中央のパネルの裏側には通信用の高利得アンテナが付いている。



図1：衛星構体の搬入

1. 宇宙航空研究開発機構 宇宙科学研究本部
ohtsuki.shoko@jaxa.jp

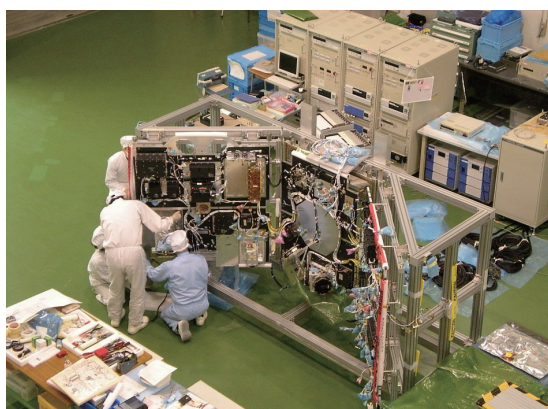


図2：上部パネルへのIR2取り付け

3. 電気試験・性能評価試験

上部パネルに様々な機器が取り付けられると、次は機器間の電氣的・機械的な相互作用を確認する電気試験、各機器の性能が要求を満たすことを確認する性能評価試験が行われた。以下に一部の機器の試験の様子を紹介する。

3.1. 観測機器

まず、6月下旬～7月にかけての約2週間、観測用機器の試験が実施された。

「あかつき」には1 μ mカメラ、2 μ mカメラ、中間赤外カメラ、紫外イメージャ、雷・大気光カメラという5つの気象観測用カメラが搭載される。これらの5つのカメラについては、金星到着後に使用する一連の観測用コマンドを実行し、画像の撮影、機上で行う一次処理、データの保存・取得が正常に行われることの確認を実施した。機器ごとには調整が済んでいても、実際に他の機器と組み合わせて動作させると、やはり様々な課題が明らかになる。単体では見つからなかったそのような課題を洗い出すことが、この試験の目的である。試験後、カメラは各開発チームの手元に戻され、それぞれに課題の対応・最終調整が進められた。

また、電波掩蔽用の超高安定発信器(USO)の試験も同じ時期に行われた。USOから発せられる信号は、トランスポンダーという中継器で周波数変換されて送信電波となるため、このトランスポンダーにも高い性能が求められる。この試験で初めてUSOとトランスポンダーのフライトモデルを組み合わせて性能評価が



図3：推進系の電気試験

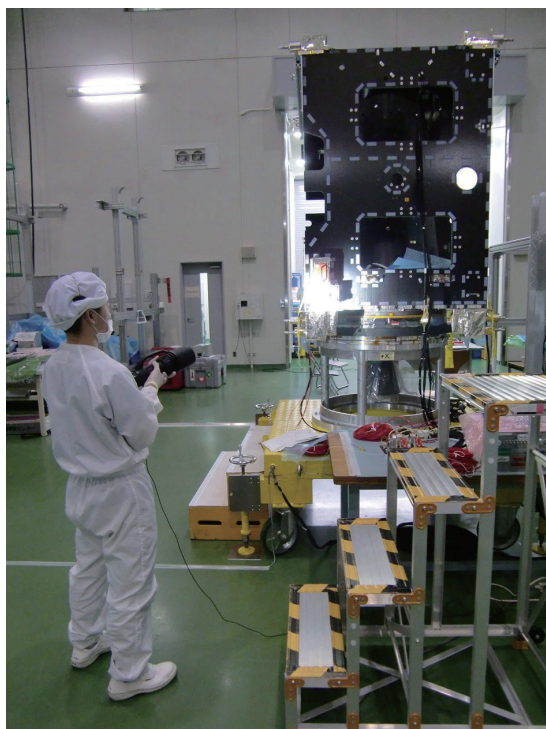


図4：姿勢制御系の電気試験

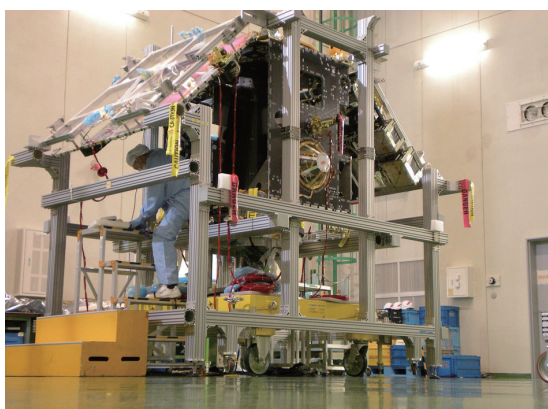


図5：下部構造への上部パネルの組み付け

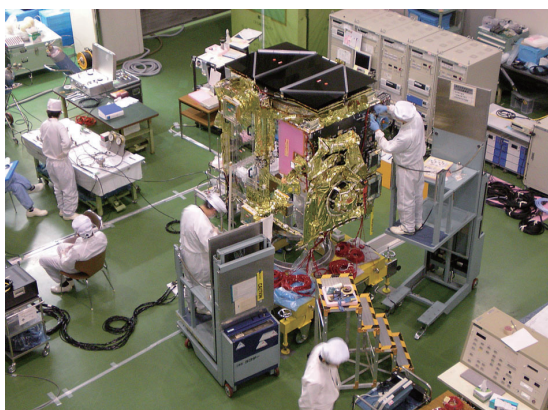


図6：太陽電池パドルの取り付け



図7：垂直方向の加振

行われ、良好な結果が得られた。

3.2. 推進系

8月中旬、推進系の電気試験が行われた。

「あかつき」の推進系は13個の推進機を持っており、姿勢制御系が選択した推進機を噴射して軌道・姿勢を



図8：IRパネルの取り付け

制御する。電気試験ではこれらの推進機が電氣的に正しく接続されていることを検証するために、図3のような試験を実施した。それぞれの推進機にホースを取り付け、ホースのもう一方の端を水につける。この状態でタンクの中のガスを排出し、設計通りに選択した推進機からガスが出て来ることを確認した。正常に接続されていればホース先からブクブクと泡が出るという、原始的だが一目瞭然な方法を用いた。

3.3. 姿勢制御系

9月の連休中日には姿勢制御系の試験が行われた。

姿勢制御系は、衛星自身の位置と姿勢を知るセンサ、センサからの情報を元に判断・計算を行うコンピュータ、衛星姿勢を動かす作動装置から成り立っている。「あかつき」のセンサには太陽を知る「太陽センサ」、複数の星を見て自分の姿勢を知る「スタートラッカ」、自分がどれだけ動いたかを知る「慣性センサ」がある。また、「リアクションホイール」というはずみ車のような作動装置を搭載している。



図9：スペースチェンバー室の様子

今回は、図4のように太陽に似た光や複数の星を表した模擬星マップを用いて試験を行なった。また、コンピュータからの信号通りに、リアクションホイールの回転数が変わるかどうか動作を確認した。

4. 環境試験

9月、前述の電気試験・性能評価試験と一部平行し



図10：熱真空試験中のUSO性能評価試験

つつ、探査機の組立が行われた。図5のように、各機器が取り付けられた上部パネル(図2)が、スラストチューブ等が取り付けられた下部構造(図3)の上に被せるように置かれ、多数の機器や配線が物理的に干渉しないように組み付けられた。その後、衛星構体全体に熱を遮り温度を適正に保つための金色の多層断熱材が貼り付けられ、さらに上部パネルの上に太陽電池パドルが取り付けられて(図6)、ついに打ち上げ時とほぼ同じ外観になった。

個々の機器の動作・性能確認はひと段落し、10月からは衛星本体を対象とした環境試験が始まった。ここでは特に振動試験と熱真空試験を紹介する。

4.1. 振動試験

まずは、打ち上げ時の振動・音響への耐性を確認する振動試験を実施した。これまで作業が行われていたクリーンルームから環境試験室に移動し、三週間に渡る試験を行った。一週目は「あかつき」を水平方向の



図11：「あかつき」の試験が行われているクリーンルームの風景

加振機乗せて衛星のX軸方向に、二週目は向きを90度回転させてY軸方向に、三週目は垂直方向の加振機(図7)に乗せ替えてZ軸方向に加振し、三方向への振動に対する特性を調べた。この試験では、目に見える振幅で衛星本体が振られ始め、次第に細かく目に見えない振動へと移行していく。素人目に見ると何も起こっておらず試験が終わったかのような気になった頃、与える振動が40~50Hzに差し掛かると、建物と共振する音が響き渡る。正常に振動に耐えうることを確認するための試験とはいえ、非常に緊張する瞬間であった。

4.2. 熱真空試験

熱真空試験は、打ち上げ後に「あかつき」が置かれる真空状態・温度環境を模擬し、その中で衛星の動作が正常であり、温度異常などがなければ確認する試験である。

その前段階として、2009年12月に衛星本体のベーキングが実施された。ひとたび衛星が打ち上げられればそこは真空の世界であり、地上の気圧では出てこなかった衛星本体に含まれる揮発性物質が出てきて、機器を汚したり問題を起こしたりする可能性がある。そこで、汚染の恐れのある観測機器等を取り外し、真空チェンバーの中で実際に想定されるよりも少し高い温度環境を作り、衛星本体に含まれる揮発性物質を追い出す作業(ベーキング)を行なった。また、このとき取り外された機器も、同様にそれぞれ単体でベーキングを実施している。

そして2010年1月、ほぼ全ての機器を取り付けた状態で熱真空試験を行った。

金星周回軌道上での観測時、地球との通信時、さらに地球から金星への飛行時の3つの温度モードでの試験を行うため、「あかつき」をIRパネルという温度調整用のヒーターが取り付けられた黒い箱の中に入れて(図8)、その箱ごと真空チェンバーの中に入れる。図9は試験中のチェンバー室の様子である。1階の透明なカーテンの奥が作業用のクリーンブースで、2階には衛星が丸ごと入る大きな真空チェンバーがある。クリーンブース内には上下に動くステージがあり、その上に真空チェンバーの下蓋が設置されている。下蓋の上にIRパネルの箱に入った「あかつき」を取り付け、ステージを上げることで衛星が真空チェンバーに収容される。

熱真空試験は常に温度と真空状態を管理し、衛星の様子を監視する必要があるため、約10日間に渡って24時間体制で取り組んだ。図10は熱真空試験中に行なわれたUSOの性能評価試験の様子である。衛星が入っている大きな真空チェンバーの横で作業を行っている。短い期間で昼夜を問わず多くの試験を進めるこの熱真空試験は、長い総合試験において最後の大きな山場であった。

5. おわりに

この原稿を書いている2010年2月現在、金星探査機「あかつき」は種子島への出発に向けての最終調整段階に入った。2001年のミッション提案から9年の時を経て、多くの人の尽力により今まさに「あかつき」が完成しようとしている。観測機器担当の理学系メンバーや、衛星本体を構成する機器を担当するJAXA工学系メンバーのみならず、実際に機器を製造して試験の実働の多くを担う担当メーカーの方々も合わせ、全員が一丸となってこの総合試験を進めてきた。

最後に、この9ヶ月間は「日常」になっていたクリーンルームの風景を紹介する。図11は2010年1月4日に撮影したもので、「あかつき」最終組み立て直前の作業風景である。パノラマ写真の中央左寄りには「あかつき」があり、右端には一緒に金星方向に出発するソーラーセイル実証衛星「イカロス」の組み立て途中の姿がある。今は目の前にあるこの「あかつき」が、一年後には金星から多くのデータを送ってきていることだろう。

なお、この文章は、あかつきプロジェクトサイト(<http://www.stp.isas.jaxa.jp/venus/>)の最新情報レポート「PLANET-Cニュース」を元に、総合試験の様子をまとめたものである。サイト記事制作には特にJAXA中塚潤一氏、成田伸一郎氏、山田学氏に協力いただいた。

参考文献

- [1] 鈴木睦, 2009, 日本惑星科学会誌 18(2), 102.