

# 金星探査機「あかつき」の開発

大島 武・佐々木 得人

## 要旨

2010年5月21日に打ち上げに成功した日本初の内惑星探査機「あかつき」は、金星周回軌道投入には失敗したものの、現在も、6年後のリベンジを目指して航行中です。本稿では、「あかつき」探査機システム設計と、個々の技術について紹介します。

## キーワード

●金星 ●深宇宙探査機 ●システム設計 ●非冷却 ●赤外線 ●ボロメータ ●MEMS ●真空パッケージ

## 1. はじめに

金星探査機「あかつき」は、日本初の内惑星探査機であり、世界初の惑星気象衛星です。金星の大気の動きを調べ、金星気象学、そして比較惑星気象学を確立することを目指しています。NECは宇宙航空研究機構（JAXA）殿の指導の下、「あかつき」のトータルシステムの開発、製造、試験を行っています。「あかつき」は、2010年5月21日にH-II Aロケット17号機により種子島宇宙センターから打ち上げられました。本稿では、「あかつき」探査機システム設計概要と個々の要素技術について述べます。

## 2. 「あかつき」の目的

金星と地球は、ほぼ同じ大きさ、ほぼ同じ質量です。金星のことがよく分かれば、地球に対する理解も深まると考えられています。この、双子の片割れとも言える金星には、まだ解き明かされていない大きな謎があります。金星の大気は、金星自身の自転速度の60倍もの速度で回転しているのです。このスーパーローテーションと呼ばれる事象の謎を解くのが、「あかつき」のメインミッションです。

## 3. 「あかつき」のミッションの特徴

さまざまな波長のカメラで、さまざまな高度の雲の様子を同時に撮像することにより、金星の雲の三次元的な動きを把握することができます。図1に、「あかつき」搭載カメラと、撮像対象との関係を示します。

「あかつき」は金星のほぼ赤道上空の長楕円軌道を周回します。金星に最も近づくところでは高度約300km、最も遠いところでは高度約80,000kmになります。遠金点（金星から最も

遠ざかるところ）付近では金星の大気に同期して移動し、長時間にわたって同一の雲の変化を観察します。近金点（金星

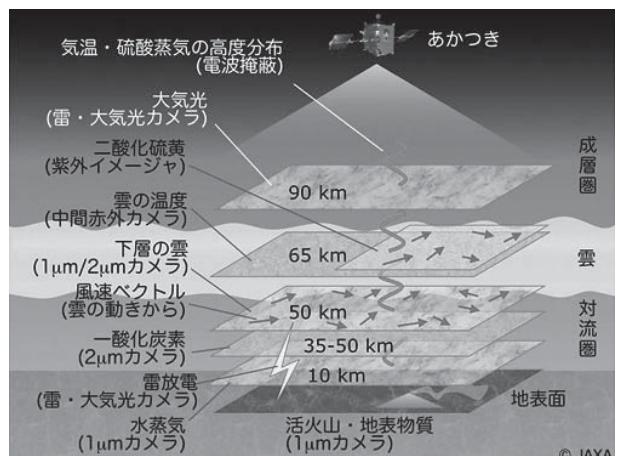


図1 「あかつき」搭載カメラの撮像対象

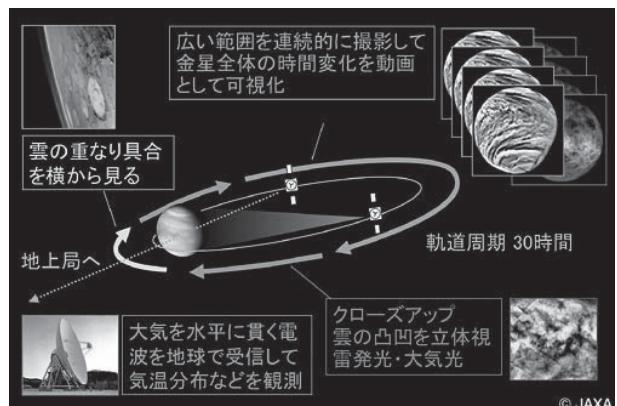


図2 金星周回軌道と「あかつき」のミッション

に最も近づくところ)付近では金星の大気に対する相対的な位置関係を変更し、大気の別の場所の上空に移動します。図2に金星周回軌道における、「あかつき」のミッションを示します。

#### 4. 「あかつき」のシステム概要

「あかつき」は、世界初の小惑星サンプルリターンを成功させた「はやぶさ」のバスを継承した、最新鋭の深宇宙探査機です。打ち上げ時質量517.6kgという軽量の探査機であり、この質量は、ESA(欧州宇宙機関)の金星探査機「Venus Express」の半分以下です。本体は1,450×1,040×1,400mmの直方体であり、+Z側にφ900mmの送信用X帯(約8GHz)高利得

表 「あかつき」のバス仕様

項目	値	単位	条件
発生電力	480以上	W	@1.0781AU
	700以上	W	@0.7AU
打ち上げ質量	517.6	kg	WET
データレート	2以上	Kbps	@地球距離1.7AU
DR容量	1,020	MB	再生記録領域
	2	GB	バックアップFLASHメモリ
姿勢決定精度	0.1°		3σ、定常状態
姿勢安定度	0.01°	/45秒	3σ、定常状態
設計寿命	4.5	年	
ランチャ	H-II Aロケット	202型 4Sフェアリング	

項目	記述
姿勢系	小角運動量3軸制御、RW4スキュー
BAT	Li-Ion 2次電池 23.5Ah × 2台
SAP	InGaP/GaAs/Ge, 1,430 × 810mm(1翼)
ノミナルバス電圧	50V
C&DHバス	RS485, PIMバス
コマンド形式	CCSDS Telecommand
テレメトリ形式	CCSDS AOS
アップ/ダウンリンクバンド	Xバンド
構造	直方体、スラストチューブ、Alハニカム
推進系	3N級1液RCS(N2H4) × 4基 23N級1液RCS(N2H4) × 8基 500N級2液RCS(N2H4.NTO) × 1基
搭載推薦量	RCS推薦: 196.3kg

アンテナ、-Z側にはφ900mmのロケット結合リングを持ちます。ロケット結合リングの中心には、長さ約450mmの2液500N推進エンジンを持ちます。土Y側には、923×1,440mmの太陽電池パネルを1,088mmのブームを介して保持します。表に「あかつき」のバス仕様、図3に外形図を示します。

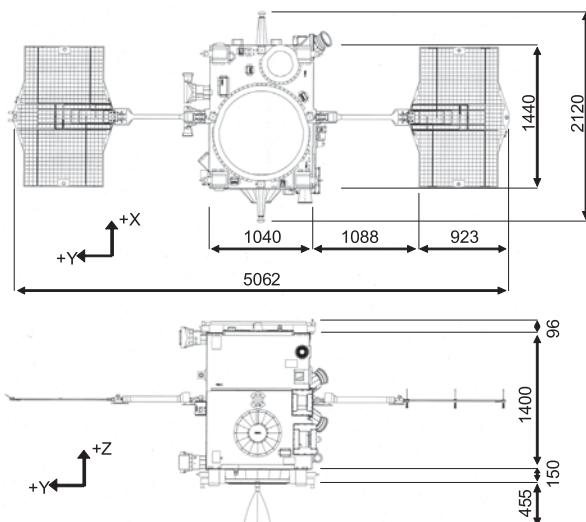


図3 「あかつき」の外形図

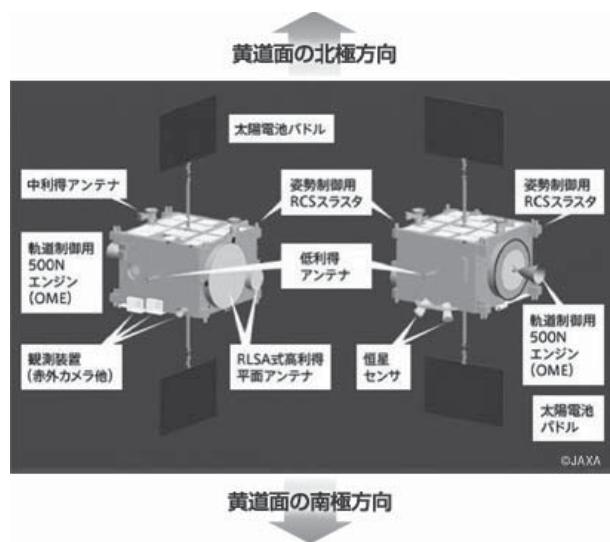


図4 「あかつき」のコンフィギュレーション

「あかつき」は、ゼロモーメンタム方式で3軸姿勢制御され、軌道面にSAP (Solar Array Panel) 軸を立てた、静止衛星と似た姿勢を取ります。SAPには、回転駆動装置としてSADA (Solar Array Drive Assembly) を使用し、太陽電池が常に太陽と正対するように、姿勢を合わせて制御を行います。±Y面を放熱面として使用し、高発熱機器、及び観測機器を搭載しています。姿勢制御用に搭載した1液の23Nスラスタ8基で軌道面内制御を行い、3Nスラスタ4基で面外制御を行います。図4に「あかつき」のコンフィギュレーションを示します。

## 5. 「あかつき」のテクノロジー

NECは「あかつき」のシステムインテグレータとして、プロジェクトの初期の段階から、システム設計など主要な役割を担ってきました。また、ものづくりのフェーズにおいては、構造系/熱制御系の設計・製造を進めるとともに、電源系・通信系・データ処理系・姿勢軌道制御系といったバス機器を設計・製造しました。更にミッション機器としては、紫外線イメージャ (UVI)、中間赤外カメラ (LIR) を開発しています。

## 5.1 バス機器の特徴

### (1) バスシステム全般

主機器を搭載した3つのパネルを一体で扱うことにより、システム電気計装（ケーブル）を、中継コネクタ無しで配線し、バスシステム全体の軽量化を図っています。

## (2) 構造系

メインの荷重パス（主構造）として、アルミハニカムコア CFRPスキンのスラストチューブを採用し、軽量化を図っています。図5に「あかつき」のパネル構成を示します。

### (3) SAP (Solar Array Paddle)

地球の2倍の太陽光強度に耐え、最大90分間の日陰時の低温に耐える、耐高温・耐低温のSAPを開発しました。

#### (4) 热制御系

軽量化のために小型化したSAPで探査機の電力需要を貯うため、ヒータの電力供給を平準化し、消費電力のピークが出ないようにするソフトウェア制御を採用しています。

## (5) 電源系

太陽距離が変わり、太陽電池の電圧が変化しても、常にピークパワーまで取り出せるSeries Switching Regulatorを探

用しています。また、バッテリとしては、リチウムイオン2次電池(23.5Ah×11、セル直列×2台)を開発しています。

## (6) 通信系

X-band高利得アンテナには、ラジアルライン給電スロットアレイアンテナを採用し、集光を避けるとともに、軽量化を図っています。図6に、「あかつき」に搭載した高利得アンテナの写真を示します。また、メインのパワーアンプとしては、小型軽量の20W進行波管増幅器を採用しています。

## (7) データ処理系

衛星各部の温度や搭載機器の動作状態などの情報（テlemetry）を出力したいとき、あらかじめ決められた上限までであれば自由に出せるOn Demand Telemetry方式を採用しています。特に、Report Packetを定義することにより、探査機の状態の変化を短いPacketで出力しておき、探査機が地球局から見え始めた最初にまとめて再生し、確認することができます。また、自由度の高い自動化自律化機能を搭載しています。

## (8) 姿勢軌道制御系

各種姿勢センサ（Star Tracker 2台、Inertial Reference Unit 3台、Fine Sun Sensor、Coarse Sun Sensor 5台）を組み合わせ

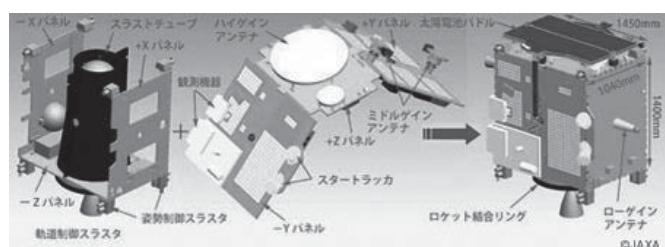


図5 「あかつき」のパネル構成

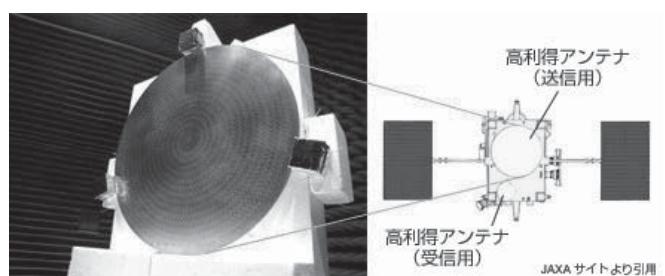


図6 「あかつき」の搭載高利得アンテナ

## ロードマップの実現を支える技術と製品（人工衛星/宇宙ステーション） 金星探査機「あかつき」の開発

て姿勢を決定し、斜交配置したリアクションホイール4台にて姿勢を制御する3軸姿勢制御系を採用しています。高度な故障検出分離復旧機能により、信頼度の高い構成としています。

### 5.2 ミッション機器の特徴

図7に、FM（フライトモデル）総合試験時の「あかつき」の写真を示します。NECで開発した2つのセンサが見えています。

紫外線イメージヤ（UVI）は、雲の形成にかかる二酸化硫黄や、紫外波長を吸収する未知の化学物質の分布を紫外線でとらえるとともに、その変動から雲頂高度での風速分布を求めます。写真1にUVIの写真を示します。

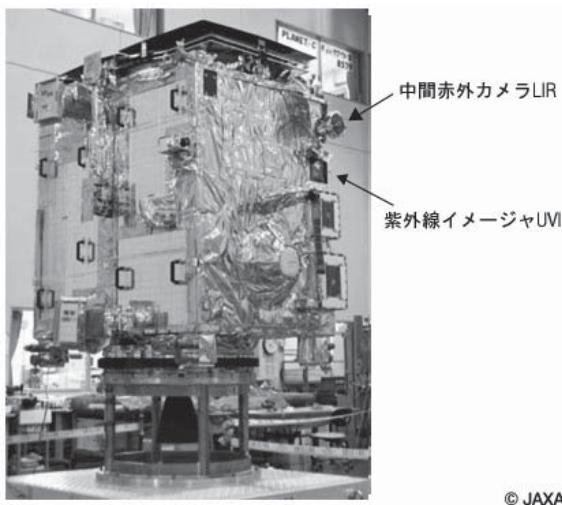


図7 「あかつき」の全体像と搭載カメラ

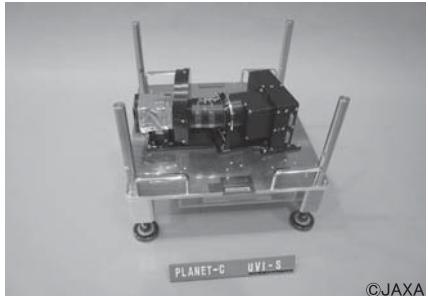


写真1 UVI

打上直後、距離25万kmからUVIで撮像した地球の画像を写真2に示します。

中間赤外カメラ（LIR）は波長 $10\mu\text{m}$ の赤外線で雲の温度を映像化し、雲層上部の波動や対流、夜側の雲頂高度における風速分布を明らかにします。LIRの写真を写真3に示します。



写真2 UVIで撮像した地球

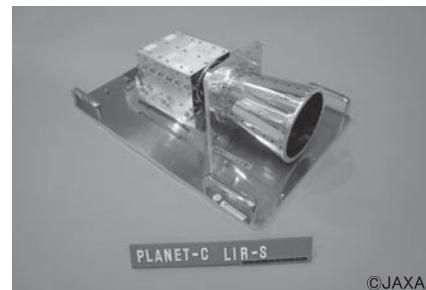
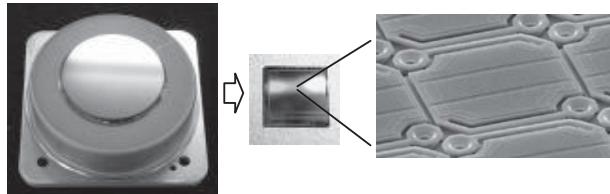


写真3 LIR



写真4 LIRで撮像した地球



320×240画素  
非冷却赤外センサ  
パッケージ

センサチップ

37 μmピッチ  
センサMEMS画素  
(電子顕微鏡像)

図8 LIR搭載の非冷却赤外センサ

打ち上げ直後、距離25万kmからLIRが撮像した地球の画像を**写真4**に示します。先ほどのUVI画像を参照すると分かるように、このときの地球は細い三日月状でしたが、10 μmの中間赤外画像では、可視光での明暗に関係なく全体像が見えています。

### 5.3 ボロメータ

LIRでは、非冷却赤外センサであるボロメータを使用しています。赤外線検知器は、これまでマイナス196°Cでの冷却を必要とする特殊な半導体をセンサ材料として使ってきました。このため、冷却型赤外センサは冷凍機が必要で、大型となり、コストも掛かることが課題でした。

一方、非冷却赤外センサは、1)半導体の微細加工技術を応用し、基板となるICチップから熱的に分離したMEMS (Micro Electro Mechanical Systems) 構造素子を開発、2)熱による抵抗変化の大きいボロメータ材料 (酸化バナジウム) 膜の形成・加工技術を開発、3)微弱な赤外信号を読み出すための信号処理回路を開発、4)MEMS構造素子を基板のICチップから断熱するための真空容器 (パッケージ) を開発することにより、温度分解能として0.1°C以下を達成する冷却不要な小型かつ安価な熱型赤外センサとなり、普及してきました。**図8**にLIRに搭載した非冷却赤外センサのパッケージ外観、320×240画素センサチップ、37 μmピッチのセンサMEMS画素<sup>1)</sup>を示します。

### 6. おわりに

「あかつき」は2010年12月7日に500Nスラスターを噴射し、金星周回軌道投入 (VOI) を試みましたが、推進系 (NEC担当

外) の異常により、周回軌道に入ることができませんでした。しかし、6年後にチャンスが訪れるので、再度金星周回軌道投入を行う予定です。NECは、「はやぶさ」から「あかつき」、そして将来の水星、火星、木星探査を目指し、太陽系大航海時代を、JAXA殿の指導の下、独自の技術で切り開いていきます。

#### 参考文献

1) N.Oda et al., NEC Res. Development. vol.44(2), pp.170-174(2003).

#### 執筆者プロフィール

大島 武  
航空宇宙・防衛事業本部  
宇宙システム事業部  
日本航空宇宙学会  
INCOSE (International Council on Systems Engineering) 会員

佐々木 得人  
航空宇宙・防衛事業本部  
誘導光電事業部  
応用物理学会会員

# NEC 技報のご案内

NEC技報の論文をご覧いただきありがとうございます。  
ご興味がありましたら、関連する他の論文もご一読ください。

NEC技報WEBサイトはこちら

NEC技報(日本語)

NEC Technical Journal(英語)

## Vol.64 No.1 宇宙特集

特別寄稿：宇宙ソリューションで社会に貢献する時代へ  
宇宙特集によせて  
宇宙事業ビジョンとロードマップ  
NECのグローバルな宇宙ソリューション事業への取り組み

### ◇ 特集論文

#### ロードマップ実現に向けた取り組み

宇宙技術とIT・ネットワーク技術の融合  
宇宙分野におけるグローバル市場への参入戦略  
「宇宙利用」のためのサービス事業の推進  
先進的宇宙システム「ASNARO」の開発

#### ロードマップの実現を支える技術と製品 (人工衛星 / 宇宙ステーション)

国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう (JEM)」の開発  
金星探査機「あかつき」の開発  
小型ソーラー電力セイル「IKAROS」の開発  
月周回衛星「かぐや」の開発  
地球観測衛星（陸域観測技術衛星）「だいち」の開発  
超高速インターネット衛星「きずな」の開発  
総合宇宙利用システムの普及を促進する小型SAR衛星技術

#### ロードマップの実現を支える技術と製品 (衛星地上システム)

衛星運用を支える地上システム  
衛星データの利用を促進する画像処理システム

#### ロードマップの実現を支える技術と製品 (衛星バス)

リモートセンシング事業を迅速に立ち上げる標準プラットフォーム「NEXTAR」  
衛星機器を構成する標準コンポーネント

#### ロードマップの実現を支える技術と製品 (通信)

衛星通信を支える通信技術  
世界で活躍する衛星搭載用中継機器

#### ロードマップの実現を支える技術と製品 (観測センサと応用技術)

観測衛星「いぶき」を支えた光学センサ技術と展望  
全地球上の雨と雲を観測する電波センサ技術  
リモートセンシングデータの向上を実現するSAR画像処理技術  
衛星画像を活用した産業廃棄物監視システム

#### ロードマップの実現を支える技術と製品 (基盤技術)

宇宙技術を支える基盤技術や開発プロセス  
月惑星探査を支える軌道計画と要素技術  
宇宙用耐放射線性POL DC/DCコンバータの開発  
宇宙開発向けプリント配線板の認定状況と今後の展開

#### ロードマップの実現を支える技術と製品 (誘導制御計算機)

ロケット用誘導制御計算機の変遷と展望

#### 小惑星探査機「はやぶさ」

小惑星探査機「はやぶさ」の開発と成果

### ◇ NEC Information

#### NEWS

NEC C&C財団 25周年記念賞表彰式開催



Vol.64 No.1  
(2011年3月)

特集TOP