# 一番星へ行こう! 日本の金星探査機の挑戦 その18 ~あかつきの新たな旅立ち~

# 山田 学1. 廣瀬 史子1

(**要旨**) 太陽公転軌道を航行中の「あかつき」探査機は、2011年11月に姿勢制御用のエンジンを用いて軌道制御を実施し、2015年11月に金星へ会合する新しい軌道に入った。

## 1. はじめに

2010年12月7日、金星探査機「あかつき」は金星上空数百kmを通過した、金星周回軌道に入るべく、「あかつき」は軌道制御エンジン(OME: Orbit Maneuver Engine)の噴射を実施したものの、途中でトラブルを生じてしまい、十分なブレーキをかけられぬままエンジンを停止、金星重力圏を通過してしまった。日本にとって初めての惑星周回軌道投入運用であり、周回軌道投入の成功を最優先としたため、このとき全ての観測機器は電源を落としていた。観測カメラの眼下に念願の金星の硫酸の雲が広がっていたであろうことを想像する度に、無念の思いが未だこみ上げてくる。

金星周回軌道投入(VOI: Venus Orbit Insertion)失 敗後,「あかつき」は公転周期約203日,近日点距離約 9千万km,遠日点距離約1億1千万kmの太陽公転軌 道に入った[1]. 改めて金星に近づくチャンスが2016 年末にあったが,その時の探査機・金星間距離は最接 近時で千数百万km 程度の予測であった。

再度金星周回軌道への投入にチャレンジするためには、なんらかの軌道制御を実施し、会合時の探査機・金星距離を近くすべきことは明白であったが、VOI 失敗の原因が推定され、OMEを再度点火することが可能かどうか、調査の結果を待たねばならなかった。

本稿では、2011年9月から11月にかけて実施した 軌道制御エンジン試験、酸化剤の投棄、2015年金星 再会合へ向けての軌道変更について報告する.

# 2. 金星周回軌道再投入に向けて

「あかつき」の軌道投入失敗の原因は、燃料を押し出すための高圧ガスのバルブの動作不良であり、これを引き金に、十分な燃料が供給されなくなったOMEが想定外の燃焼状態となり、OMEに何らかの異常が発生したものと推定された[2].

2011年6月末に出された報告[3] には、OMEにどのような異常が起きたのか推定するため実施された地上試験の結果と推定されるOMEの状態、金星周回軌道へ再投入するための運用方法が示された。OMEの状態は「スラスタノズルの破損」である可能性が高い、と報告されている。OMEは燃料と酸化剤を混合燃焼させて推力を得る二液式のエンジンであるが、混合燃焼を行う燃焼器と言われる部分は健在で、ここで燃焼し吹き出すガスの流れを整えるスカート状の「ノズル」部分が破損している可能性が高いということである。

図1はこの報告書に示された金星周回軌道への再投入に向けた運用の流れである。先ず、破損の程度を知るために、「あかつき」のOMEを実際にわずかな時間噴射するテストを実施し、どれだけ推力がでるのか確認する。OMEで十分な推力がでるようであれば、打ち上げ当初計画していた30時間で金星を回る軌道へまだ投入できる可能性が残される。一方、OMEが使えない場合でも、姿勢制御用エンジン(RCS: Reaction Control System)を使った軌道制御で金星へ到達させ

OMEの現在の状態を軌道上テスト噴射により確認する。テスト噴射の結果から、OMEが再噴射可能な場合と不可能な場合の両ケースについて以下の二つの軌道変更方法を検討中、

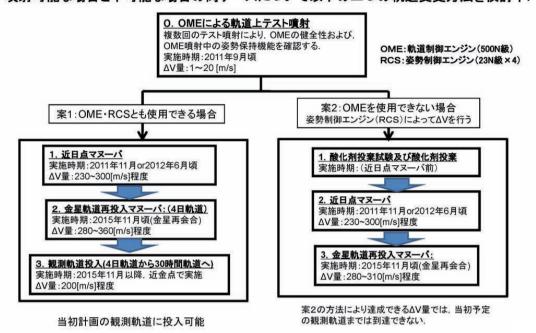


図1: 金星周回軌道再投入にむけた運用の流れ([3] より抜粋).

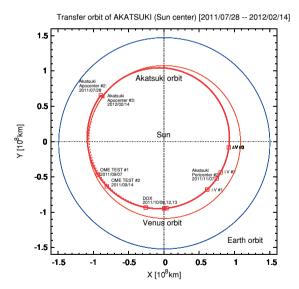


図2:「あかつき」二回目遠日点通過(2011年7月28日)から三回目 遠日点通過(2012年2月14日)までの軌道図.近日点付近で の軌道制御により、遠日点が金星軌道とおおよそ接するよ うな軌道となった.

ることは可能だが、当初計画の金星周回軌道への投入 は不可能となる。

#### 2.1 軌道制御エンジンテスト

早速、7月はじめよりOMEのテスト噴射運用のための検討が開始された。損傷しているであろうOMEにこれ以上のダメージを与えぬため、a)噴射時、燃焼器および周辺部分を決まった温度範囲にしておくこと、b)通常同時に供給していた酸化剤と燃料の供給タイミングを100ミリ秒のオーダーでずらすこと、で着火時の衝撃を緩和できそうであるということが地上試験から予測された。そこでこれを実現するための運用方法が議論された。また、OMEの状態はあくまで推測であるため、再噴射時、短時間とはいえVOI失敗時に生じたのと同程度、あるいは、それ以上の姿勢外乱が生じる可能性も否定できなかった。こういったケースにおいても自律制御により「あかつき」の姿勢を保てるように、制御ロジックが調整された。

燃焼器を着火時の衝撃を緩和できる温度にするには、取り付けられているヒーターだけでは足りないため、燃焼器が取り付けられた面を太陽に向けた状態でしばらく姿勢を維持し、温度が上がったところで噴射

のための姿勢に変更するという方法を取ることになった. 8月15日と9月2日にこの姿勢変更のみを実施. OME の所定の箇所が想定通りの温度になるのかを検証し、姿勢変更のタイミング等の調整を行った.

これら約2ヶ月あまりの準備を経て9月7日にOME のテスト噴射を実施した.「あかつき」でOME 噴射が2秒間行われ,「あかつき」からの電波が地球に到達したはずの801秒後,それまでと同様に「あかつき」からの電波を臼田64 m アンテナが捕捉し続けていた.つまり「あかつき」は姿勢を大きく乱すようなことはなかったようだった.しかし電波の周波数変化から推定される「あかつき」の地球から見た視線方向の速度変化は期待に反しほとんどなかった. 搭載されている加速度計の記録も同様に、OMEの推力の小ささを示すものであった.

9月14日に5秒の噴射を実施したが、結果は変わらず、OMEによる軌道制御は断念し、図1「案2」の運用を行うことになった。

### 2.2 酸化剤排出

二液式エンジンのOMEに対し、RCSは触媒反応を用いて燃料を分解させて推力を得る一液式エンジンで、酸化剤を必要としない。今後、金星周回軌道投入も含めRCSにて制御を行う以上、残念ながら酸化剤は重りにしかならない。この酸化剤を排出し、「あかつき」自身の質量を減らした方が今後の軌道制御において貴重な燃料を効率的に使うことができる。そこで10月前半に酸化剤を排出し、約65 kgの軽量化を行った。

#### 2.3 近日点軌道制御

VOI失敗の原因となった燃料を押し出すための高圧ガスのバルブは完全に閉じた状態ではなく、ゆっくりとしたガス供給がある。実際VOI失敗後もRCSを短時間噴いて姿勢制御を行うことに支障はなかった。しかし、軌道制御に用いるとなると、RCSで長時間連続噴射をすることで推力を得る必要があり、これは想定外の運用方法であった。このため軌道変更は近日点付近で三回に分けておこない、各噴射が終わる毎に上流の高圧ガスバルブを開け、燃料を押し出す圧力を回復させるという運用を行うことになった。

VOI後二回目の近日点通過を11月7日に控えた11月1日、RCSによる一回目の軌道制御を実施した。「あ

かつき」は進行方向とは逆向きにRCSを約10分間連続噴射. 地上で準リアルタイムに測定していた視線方向速度は、ほぼ一定勾配をもって変化した. 計画通りの安定した加速が得られた. この後、11月10日と21日にも計画通りの軌道制御を実施し、合計で約240 m/sの速度変化量となった. 「あかつき」の軌道は遠日点距離は約1億700万kmと小さくなり(図2)、公転周期は約199日となった.

## 3. 新たな旅路

VOI失敗後、「あかつき」が今後どうなるのか、確証を持って言えることは少なかった。今回のOMEテスト噴射、RCSを使った軌道制御を無事終え、どのような形であれ、「2015年11月末に金星に再度接近する」ことは物理法則が変わらない限り確かなことになった。「あかつき」は、今後7回の近日点通過にともなう想定外の高温環境を経験しなくてはならない。設計寿命を越えた金星までの道のりが険しいものであることは否定できない。楽観視はできないが、やっと金星での観測を考えられるスタートラインに立ったのだ。

2015年にどの様な金星周回軌道に投入することが 可能なのか、いままさに検討がなされている段階であ る.金星再会合時の機体や観測機器の状態を踏まえた 上で、可能な軌道の中から、科学的成果と安全性を天 秤にかけて選択することになるだろう.

# 参考文献

- [1] 中村正人, 2011, 遊・星・人 20, 68.
- [2] 宇宙航空研究開発機構プレスリリース、2010年12 月27日、http://www.jaxa.jp/press/2010/12/20101227\_ sac akatsuki 2.pdf
- [3] 宇宙航空研究開発機構プレスリリース, 2011年6 月30日, http://www.jaxa.jp/press/2011/06/20110630\_ sac akatsuki.pdf