

1. ま え が き

ひまわり 8, 9 号は、現在運用中のひまわり 6, 7 号の後継機として、当社が衛星システム及び放射計データ処理ソフトウェアを受注し、開発を進めている衛星である。この衛星には、従来の 2 倍の分解能を持ち、地球全体観測の時間を 1/3 に短縮化するなどの特長を持つ先進的な次世代の放射計が搭載される。この高性能な放射計による観測を実現するため、衛星システムでも低熱歪光学ベンチの採用、高精度姿勢制御システムの採用、低擾乱アクチュエータの採用による高周波擾乱対策を図っている。また、放射計が搭載される光学ベンチの姿勢を高精度に決定するためのセンサを複数搭載し、これらの角速度データによる決定値を用いて、地上で高精度な画像補正を行うためのデータ処理が可能なシステムを構成している。

本稿では、ひまわり 8, 9 号の概要について述べるとともに、高精度気象観測システムの実現のため、衛星バスシステムで採用される技術について述べる。

2. ひまわり 8, 9 号の概要

ひまわり 8, 9 号は、可視赤外放射計による観測ミッションと気象データの中継機能ミッションを目的とした衛星で、それぞれ 2014 年、2016 年に打ち上げを予定している。これらの衛星は、前号機(ひまわり 7 号)と同様に、三軸姿勢制御型の静止衛星であり、衛星バスは前号機同様、(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)の技術試験衛星 VIII 型(ETS-VIII)をベースとする当社衛星標準バスシステム“DS2000”を適用している。ただし、衛星設計寿命は、前号機の 10 年に対して、15 年とより長寿命を目指した設計となっている。現在、詳細設計を完了し、打ち上げに向けてひまわり 8 号の製造及び試験を実施中である。

この衛星に搭載される可視赤外放射計は、米国の気象衛

表 1. ひまわり 8, 9 号とひまわり 7 号の観測運用比較

観測モード	頻度	
	ひまわり 8, 9 号	ひまわり 7 号
全球観測	1 回/10分	1 回/30分
日本付近観測	4 回/10分	なし
台風観測	4 回/10分	なし
ランドマーク観測	20回/10分	なし
積乱雲観測	20回/10分	なし

表 2. ひまわり 8, 9 号とひまわり 7 号の観測チャンネル数比較

機種	チャンネル数
ひまわり 8, 9 号	16ch
ひまわり 7 号	5 ch

表 3. ひまわり 8, 9 号とひまわり 7 号の空間分解能比較

	空間分解能	備考
ひまわり 8, 9 号	0.5km	可視(波長帯0.625~0.660 μ m)
ひまわり 7 号	1 km	可視(波長帯0.55 ~0.90 μ m)

星 GOES-R 向けに開発された ABI (Advanced Baseline Imager) と同等性能のもので、世界に先駆けての採用であり、表 1 に示すように、従来のイメージャー(ひまわり 7 号機に搭載)と比較し、観測運用性の飛躍的向上が図られている。例えば、地球全球観測については、1 回/10分と、前号機に比べ、1/3 に短縮される。また、観測可能な波長帯が細分化され、表 2 に示すように、そのチャンネル数が、3 倍に増加するとともに、表 3 に示すように、観測波長帯に依存するものの空間分解能も 2 倍に向上し、高精度かつ高速な気象観測が可能となる。

また、搭載系及び地上処理系では、光学ベンチの姿勢計測を行うために異なる周波数帯域の複数のセンサデータを組み合わせて高精度・広帯域に姿勢計測及び決定を行い、地上で放射計画像の幾何補正に利用するデータを配信する機能を持っている。

さらに、通信系では、Ka 帯を利用した通信を採用し、地上局に送信された観測データは、画像処理を施され、インターネットなどを通じて、世界各国に配信される一方、前号機と同様、離島や航空機、船舶から UHF 帯を利用して送信される観測データを、地上局へ中継する機能を持っている。

3. ひまわり 8, 9 号の放射計視線誤差要求

ひまわり 8, 9 号に搭載される放射計による高精度観測実現に向けて、表 4 に示す放射計の視線誤差要求が規定されている。この要求仕様は、衛星バスシステムによる影響も含むものとなっており、この誤差要求を満たすため、衛星バスシステムでも種々の技術を採用している。4 章では、この要求仕様を満たすために、ひまわり 8, 9 号に採用する衛星バスシステム技術について述べる。

4. 高精度観測実現のための衛星バスシステム技術

4.1 衛星コンフィギュレーション設計

ひまわり 8, 9 号は、放射計の搭載に係る要求を満足し、

表 4. ひまわり 8, 9 号の放射計視線誤差要求

大分類	誤差項目		仕様値 (下段: 規定時間)	主要因
	中分類	小分類		
放射計 指向角 推定誤差	放射計 姿勢角 推定誤差	バイアス	—	IRU/光学ベンチ 間アライメント IRU/STT間相対 熱変形等
		ドリフト (長期変動)	14 μ rad (p-p) (600s)	
	ジッタ (中・短期変動)	4 μ rad (1 σ) (30/150/600s)	IRU, ARSノイズ 等	
	放射計 相対指向角 推定誤差	放射計内部 アライメント	$\pm 70\mu$ rad (0-p) (1day)	
		放射計走査角 検出誤差	4 μ rad (RMS) (30/150/600s)	ミラーエンコーダ 誤差
		放射計高周波 視線変動		内部擾乱 (RWA, IRU, 冷凍機)

RMS : Root Mean Square

衛星システムの性能を達成する最適なコンフィギュレーションを実現する設計としている。次に、代表的な2つの特長について述べる。

4.1.1 放射計の放熱面視野の確保

放射計は、赤外検知器の温度要求が厳しいことから、その冷却能力を阻害しない衛星コンフィギュレーションが求められる。ひまわり8, 9号では、太陽電池パドルを南面片翼とするなど、放射計が搭載される北面側には輻射(ふくしゃ)熱源となる外部搭載機器を配置しない設計としている。これによって、放射計放熱面は±90°の視野を確保でき、放射計の放熱能力を最大限発揮させる理想的な熱制御環境を実現している(図1)。

4.1.2 光学ベンチの低熱歪設計

ひまわり8, 9号では、高精度の観測ミッション要求を実現するために、光学ベンチに、恒星センサ(STT)、慣性基準装置(IRU)及び角速度センサ(ARS)を搭載している。これらのセンサを用いた高精度姿勢決定を実現するために、次の方策を適用している。

- (1) 光学ベンチへの全センサー一体化搭載による姿勢センサ間相対アライメント誤差の最小化
- (2) 光学ベンチをCFRP(炭素繊維強化プラスチック)製のシリンダ構体に直接締結し、構体部の熱歪の影響を抑制
- (3) アルミ合金より2桁低い線膨張率を持つCFRPを表皮とするハニカムパネルの採用による光学ベンチの低熱歪化

これらの方策によって、表4で示す放射計姿勢誤差推定値(ドリフト成分)に対する熱変形の影響を抑制することが可能である。

4.2 高精度姿勢制御システム

放射計の画像位置合わせ処理における幾何精度実現のため、ひまわり8, 9号では、従来の搭載系で姿勢制御に必要となる低中周波領域の姿勢決定を行うことに加えて、地上処理系で高周波領域を含めた放射計の姿勢変動を決定し、画像補正に使用する高精度姿勢決定を行う。次では高精度姿勢制御システムの搭載系と地上処理系におけるそれぞれの特長を示す。

4.2.1 衛星搭載系機器

ひまわり8, 9号では、高精度の観測ミッション要求を

実現するために、従来の地球センサ(ESA)に代えて、常時高精度で衛星姿勢を検出することができるSTTを搭載する。IRUは、そのおおよそ12Hzの帯域を十分に活用するため、従来の16Hzから128Hzへサンプリングレート向上を実現している。さらに、広帯域(2Hz~1kHzを検出可能)のARSによって光学ベンチの姿勢を512Hzサンプリングで計測し、放射計データとともに地上に伝送する構成となっている。

放射計のミッションデータ及び姿勢情報の地上配信は、ミッションデータコーディング装置(MDC)が行う。放射計とMDC及びMDCと衛星制御器(SCP)との間は、高速データバスとして近年採用が広まっているSpW(SpaceWire)インタフェースによって接続されている。MDCは、SCPからの時刻情報及び衛星内正秒タイミング信号を受信し放射計へ転送する。時刻データ及び衛星内正秒タイミングを放射計へ優先配信することによって放射計画像データと高周波姿勢データの時刻の等時性を保証している。これによって、地上の位置合わせ処理で、姿勢・レートを使用して画像を補正可能としている。

4.2.2 地上処理における高精度・広帯域姿勢決定

地上処理系における高精度・広帯域姿勢決定系は、光学ベンチの姿勢を高精度・広帯域に決定する光学ベンチ姿勢決定系となっている。

光学ベンチ姿勢決定系は、光学ベンチに搭載したIRU, STT, ARSを用いて、高精度・広帯域に光学ベンチの姿勢を決定する。この姿勢決定フィルタは、オフライン姿勢決定処理(IRU・STTベース)を基本としている。STTを搭載し、姿勢基準値の精度を向上させるとともに、光学ベンチに搭載したARSとIRUを用いた相補フィルタによって、DC成分から広帯域まで観測帯域を持つ広帯域レートセンサを構成する。この広帯域の角速度推定値と、IRU・STTベースで決定した低中周波の姿勢決定値を用いて、光学ベンチの姿勢と角速度を高精度・広帯域に決定する。図2に高精度姿勢決定フィルタの構成を示す。

4.3 放射計高周波指向変動対策(高周波擾乱対策)

3章の放射計視線誤差要求にも記載のように、高周波擾乱による放射計視線誤差要求が規定されており、この要求を満たすことも必要条件となる。ひまわり8, 9号には、

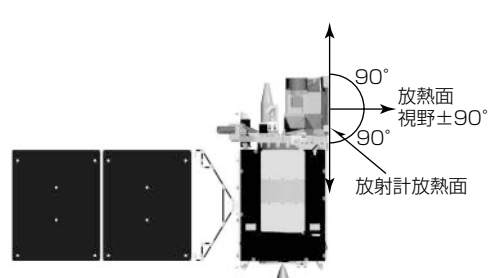


図1. 放射計放熱面視野

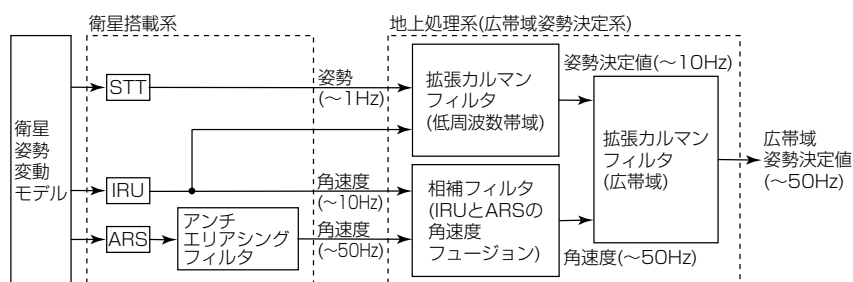


図2. 高精度・広帯域姿勢決定フィルタの構成

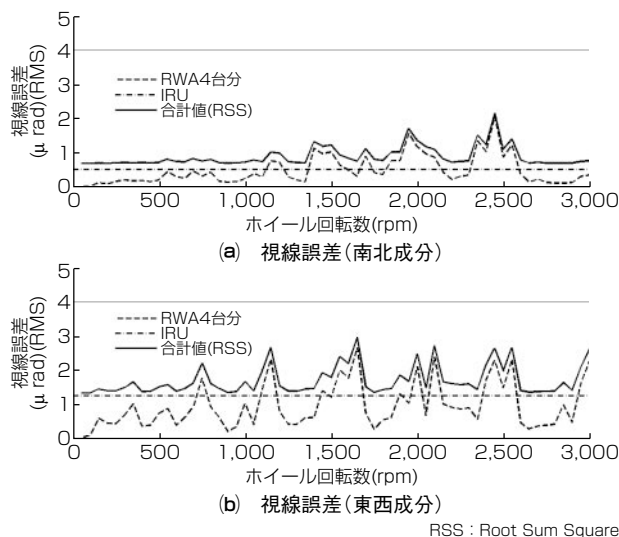


図3. 高周波擾乱解析結果(RWA 4台+IRU)

通常の衛星と同様、リアクションホイール(RWA)4台、IRU1台が搭載され、さらに、放射計内部は、冷凍機も搭載されている。これらが、高周波擾乱を発生する擾乱源となるため、これらの擾乱が放射計の観測に対して影響を与えないよう方策を採る必要がある。また、これら方策が十分に機能していることを打ち上げ前に評価することも必要である。

4.3.1 擾乱低減対策と擾乱解析

ひまわり8,9号では、設計当初から放射計の視線誤差要求が厳しいこと、また、これまでの高精度観測衛星の開発経験からコンポーネントレベルでの擾乱低減対策が必要と考えており、その対策として、主要な擾乱源であるRWAは、当社の静止観測衛星では初となる低擾乱タイプのRWAを採用している。また、IRUについてもできる限り擾乱レベルの低いものを採用している。

一方、先に述べた擾乱源の擾乱低減対策だけでは、放射計の視線誤差要求を満足するとは言い切れない。そこで重要となるのが、擾乱による視線誤差への影響評価である。ひまわり8,9号では、設計段階で、擾乱による影響を把握するため、衛星バスシステムに放射計モデルを組み込んだ有限要素モデルを用いて算出した擾乱源から光学ベンチインタフェース面(放射計搭載面)までの伝達関数、光学ベンチインタフェース面から放射計の指向軸までの伝達関数及び擾乱源の擾乱特性を用いた擾乱解析を実施した。図3は、RWAの回転数変化による視線誤差変動に、IRUによる定常成分の視線誤差成分を加えた結果である。この結果から冷凍機による視線誤差分を加えても要求仕様4μrad(RMS)を満足することを確認している。

4.3.2 擾乱試験計画

設計段階で、擾乱解析による視線誤差予測は重要な役割を持つが、解析モデルと実機では必ずしも特性が一致しな

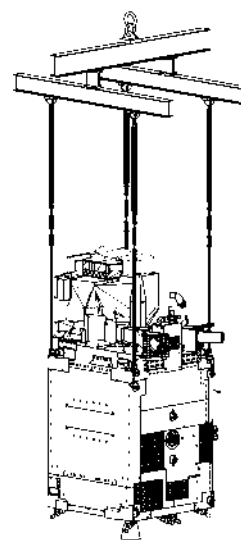


図4. 衛星システム擾乱試験

い。そのため、当社は、これまで開発した多くの高精度観測衛星で、地上で実機を用いた擾乱試験を実施し、性能評価を行っている。この擾乱による観測機器への影響評価は、“ひまわり7号”や太陽観測衛星“ひので”⁽¹⁾⁽²⁾などで評価技術を蓄積しており、ひまわり8,9号でもこれら技術を適用した評価試験を計画している。

擾乱試験では、可能な限り軌道上の両端自由境界条件を模擬する試験コンフィギュレーションを確立するとともに、微小振動の計測に影響を与える建屋などから伝播(でんぱ)する外来振動を低減するため、図4に示すように衛星バス全体をばねでつるコンフィギュレーションとする計画である。また、試験では、実際に軌道上での擾乱による影響を把握する目的からRWA, IRUなどの実際の搭載機器を駆動した場合に生じる放射計の視線誤差評価を行う計画である。

5. むすび

2014年、2016年打ち上げのひまわり8,9号の概要について述べるとともに、この衛星で目標としている高精度観測を実現するための衛星システム設計技術について述べた。今後、これら技術を搭載した衛星は、製造及び試験を行い、地上試験で、観測性能要求を満足することを確認した後、打ち上げ予定である。世界初の放射計による高精度気象観測システムを実現するために、総力を挙げて取り組んでいく。

参考文献

- (1) 高原 修, ほか: Solar-B微小擾乱伝達特性評価試験, 宇宙科学技術連合講演会講演集, 47, 1596~1599 (2003)
- (2) 高原 修, ほか: 光学計測による太陽観測衛星SOLAR-Bの指向誤差評価, 宇宙科学技術連合講演会講演集, 50, IE03 (2006)