

気象衛星ひまわり7・8・9号による地球環境観測への貢献

田中 敦*
Atsushi Tanaka

Contribution to Earth Environment Observation with Meteorological Satellite
HIMAWARI-7/8/9

要 旨

静止気象衛星ひまわりは、1978年に初号機の運用が開始されて以来、現在運用中の8号(9号は待機運用中)まで日本の気象観測に欠かせない存在になっており、テレビの天気予報やネット配信によってその画像は広く国民生活に浸透している。また、日本だけでなく、アジア太平洋の30以上の国や地域に観測結果を配信しており、気象観測、災害監視等に大きな役割を果たしている。

三菱電機は、標準静止衛星バス“DS2000”を開発し、初適用衛星として2000年に運輸多目的衛星新2号(MTSAT-2)を受注し、2006年に打ち上げに成功して“ひまわり7号”になった。ひまわり7号は、約4年間の待機運用を経て2010年7月から2015年7月までの5年間観測を行い、ひまわり8号に引き継ぎ、ひまわり9号の待機運用が開始さ

れた2017年3月に気象ミッションを完了した。

ひまわり8・9号は、世界に先駆けて新型の可視赤外放射計(イメージャ)を搭載しており、ひまわり7号からの大幅な観測性能の向上によって、従来よりも高い頻度/密度/精度、多様な高度での観測が可能になり、気象観測に加えて、防災監視機能が強化され、火山噴煙、海水、黄砂等の観測も行っている。また、海面の温度、海水の分布、大気中の微粒子等の観測をより高精度に実施することで、地球環境及び気候変動の観測に大きく貢献している。

今後は、ひまわり8号が2022年まで、その後ひまわり9号が2029年まで観測を行う計画であり、ひまわり7・8・9号と3機にわたり2010年から約20年間、日本の地球環境観測を当社製の衛星が担当する。



2014年12月18日 気象庁による初画像提供

気象衛星ひまわりの運用計画

年度(20XX)	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29				
ひまわり6号 (MTSAT-1R)	2005.2打ち上げ		観測運用										待機運用																	
ひまわり7号 (MTSAT-2)	2006.2打ち上げ		待機運用		観測運用										待機運用				当社製造衛星											
ひまわり8号	2009.7プログラムスタート		2014.10打ち上げ		観測運用										待機運用															
ひまわり9号	2016.11打ち上げ		待機運用										観測運用																	

ひまわり7・8・9号

静止気象衛星ひまわりは、初号機から6号まで米国製であったが、当社が7・8・9号を開発・製造した。2006年に打ち上げに成功したひまわり7号は、約4年間の待機運用を経て2010年7月から2015年7月までの5年間観測を行い、ひまわり8号に引き継ぎ、ひまわり9号の待機運用が開始された2017年3月に気象ミッションを完了した。現在運用中のひまわり8号が2022年まで、その後現在待機運用中のひまわり9号が2029年まで観測を行う計画になっており、ひまわり7・8・9号と3機にわたって2010年から約20年間、日本の地球環境観測を当社製の衛星が担当する。

*鎌倉製作所

1. ま え が き

“ひまわり”は、広く国民に知られている日本の静止気象衛星の愛称であり、その歴史は40年を超え、気象観測にとどまらず、地球環境及び気候変動観測に大きく貢献している。1978年に観測を開始した初号機で観測バンド2ch(可視1ch/赤外1ch)、全球観測頻度が14回/日であったのが、ひまわり8・9号で16ch(可視3ch/近赤外・赤外13ch)、全球観測頻度142回/日・領域観測576回/日と飛躍的に向上している。観測分解能も0.5km(可視)/2km(赤外)と初号機から2倍以上に向上していて、ひまわり8・9号からカラー観測が可能になった。図1にひまわりの変遷を示す。ひまわり6号までは米国製であったが、ひまわり7号以降当社が開発・製造を担当している。

2. ひまわり7号の開発及び運用⁽²⁾

2.1 ひまわり7号の開発

ひまわり7号は当社のDS2000衛星バスを採用した初の国産静止気象衛星であり、気象観測機能以外に衛星通信を利用した航空保安システム(航空ミッション)も一緒に搭載している。衛星の設計寿命は10年で、イメージャの軌道上寿命は公称5年とされており、気象観測ミッション運用は、2010年7月から2015年7月までの5年間行われ、ひまわり8号に引き継ぎ、ひまわり9号の待機運用が開始された2017年3月に気象ミッションを完了した。

2.2 イメージャデータ処理装置の開発

ひまわり7号のイメージャ画像は、イメージャデータ処理ソフトウェア(Imager Data Acquisition & Control Software: IDACS)によって、復調・画像処理され、雲画像(LRIT)と高分解能デジタル雲画像(HRIT)を生成・配信するものである。当社は、このIDACSを2004年に気象庁に納入し、気象庁気象衛星通信所(埼玉県)に設置した。IDACSで処理した画像は、気象衛星センター(東京都清瀬市)に伝送され、ここでユーザーが利用しやすい画像形式に二次加工されるが、IDACSは気象衛星センターへの画

像伝送までをカバーするものである。IDACSの主要装置である画像生成装置では、次の処理を行っている。

- (1) 受信データの校正
- (2) ランドマークの抽出と、地球エッジ情報に基づく画像位置補正
- (3) 画像のリサンプリング
- (4) LRIT・HRITデータの生成・送信

2006年の打ち上げから2010年までの約4年間はひまわり6号のバックアップとして待機状態としながら、IDACSの画像処理パラメータのチューニングを気象庁と進め、画像品質をより高めるとともに、計算機動作も含めたよりロバストなシステムへと改善を図った。

2.3 ひまわり7号の運用実績

2006年2月の打ち上げ後、約1週間は衛星を静止軌道に乗せるクリティカル運用であった。この運用は当社の鎌倉製作所のサテライト・オペレーション・センター(SOC)で実施し、計画どおり成功裏に終了した。その後、軌道上試験を完了するまでの約半年についても、衛星バス運用は、このSOCから実施した。

2006年7月からは、航空ミッションが実運用に移行し、衛星バス運用は、国土交通省航空局の常陸太田航空衛星センター及び神戸航空衛星センターに移管された。一方、気象ミッション運用では、撮像計画を衛星に送信する運用を定期的に行う必要があり、気象庁気象衛星通信所がこれに対応した。当社は、これらの運用の国土交通省航空局及び気象庁への確実な移行をサポートした。SOCでも常時テレメトリを受信し、衛星状態を監視モニタできるようにして、衛星の万一の不慮の事故にもすみやかに対応できる仕組みを構築した。また、気象ミッション運用を行う気象衛星通信所とも緊急時には回線の接続が可能なるようにして、ひまわりのサービス継続を確実なものとした。

3. ひまわり8・9号の開発及び運用⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾

3.1 ひまわり8・9号の開発

ひまわり8号は、ひまわり7号の実績と経験を踏まえて、新型のイメージャの運用に最適な設計を行ったものである。

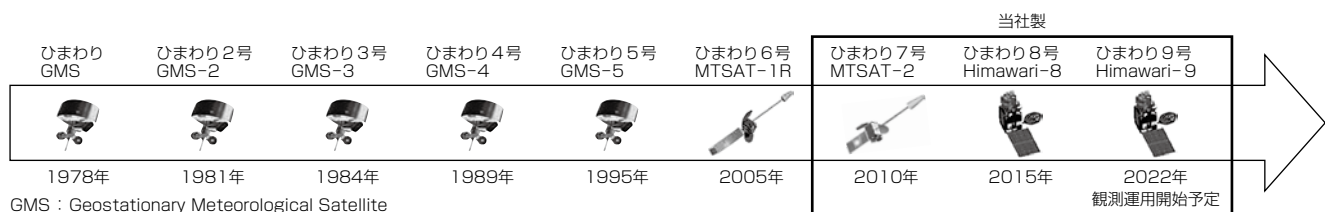


図1. 気象衛星ひまわりの変遷⁽¹⁾

ひまわり7号に搭載したイメージャと比べて画像の解像度は約2倍の高精細になり、また、地球全体の観測にかかる時間が約1/3に短縮され、日本域などの小領域を高頻度に観測することが可能になった。

一方、イメージャの観測精度実現のためには、イメージャを搭載する衛星バスシステムも従来に比べて高い性能が要求された。そのため、低熱歪(ひずみ)の光学ベンチの採用、高精度姿勢制御系システム、低擾乱(じょうらん)アクチュエータの採用による擾乱低減を図るとともに、地上での画像補正処理のために、高精度・広帯域に光学ベンチの姿勢を計測・決定する機能を持つ。衛星バスには、当社が開発してひまわり7号や各種通信衛星、準天頂衛星に採用してきた実績のある標準衛星バス“DS2000”を採用している。

撮像画像は、Kaバンドのマイクロ波で伝送する。データ伝送レートは衛星の各種技術情報(テレメトリ)を含めて60Mbps程度である。直径約2.2mのアンテナを搭載し、日本国内の2か所の地上局(埼玉県鳩山町と北海道江別市)に効率的に電波放射できるような設計にしている。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、ひまわり7号と同様、離島や航空機、船舶からUHF(Ultra High Frequency)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。

3.2 イメージャ

地球を撮像するイメージャは、米国航空宇宙局(NASA)などが中心になって開発した。気象衛星観測の新世代を担う最先端の性能を持ち、ひまわり8・9号ではこれをいち早く導入するとともに日本独自の仕様を追加した。まだ米国で打ち上げた実績がなく、日本が世界で初めて運用したものである。

イメージャの観測帯域(バンド)は、ひまわり7号の5chから16chと3倍以上になった。可視帯域のバンドが光の3原色になったことによって、地上で重ね合わせ処理をしてカラー画像が得られるようになった。分解能は、放射計の受光素子密度が高くなり、デジタル処理技術の進歩と相まって、ひまわり7号と比べて約2倍ときめ細かくなった。これによって、積乱雲や台風の進路、発達を監視がより詳細にできるようになり、火山噴火などの現象も把握しやすくなった。図2に台風の領域観測画像を示す。観測時間は、走査幅を広くするとともに放射計が小刻みに動けるよう、2枚の走査ミラーを導入して、南北・東西にそれぞれ個別に動くことで複雑な観測が可能になった。滑らかで精細な動画を作成することも可能になり、局所的に発達する積乱雲をいち早く検知できるようになった。観測にかかる時間を短縮したことによって、雲や台風の動きをより早期に緻

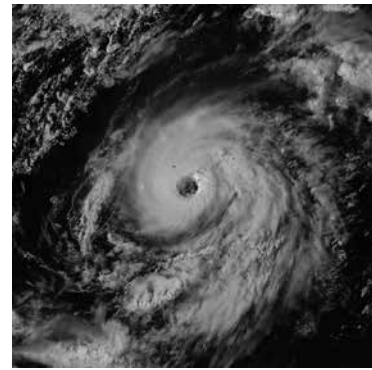


図2. 台風の画像例(2015年3月31日試験撮像)(気象庁提供)

密に追跡することが可能になり、気象災害の防止・軽減に寄与している。

3.3 イメージャの性能を最大限引き出す技術

気象状況の正確な把握と予測には、ラジオメトリック精度とともにジオメトリック(幾何)精度の向上が重要であり、この観点でイメージャの機能を最大限に発揮させるため、衛星・地上全体システム設計の最適化を行った。

具体的には、衛星の地球を向くパネル面に低熱歪のもう一枚のパネルを乗せ、このパネル上にイメージャを搭載することで、衛星の熱歪がイメージャの光学系を歪(ゆが)める悪影響を最小化した。これに加えて、放射計の視線を高精度・広帯域に決定するために、このパネル上にスタートラッカ(STT)、慣性基準装置(IRU)及び高周波レートセンサ(ARS)を搭載した。図3にひまわり8・9号の高精度ジオメトリック校正処理のブロック図を示す。観測画像と地形標本とのマッチング処理によって画像のバイアス校正を実施し、変動分に関しては恒星センサ・低/高周波レートセンサ・加速度計データを最適なフュージョンフィルタで処理し、姿勢又は指向軸を高精度・高周波に推定することで、走査鏡の走査に伴う数 μ radの軌道上姿勢変動も推定できており、その結果10分間の姿勢安定度及び擾乱も非常に安定している。この方式によって、バイアスから高周波までの姿勢・指向軸推定をオンライン処理で行っており、図4の赤外チャンネル13の例で示すとおり、1画素以下の精度を実現している。

3.4 イメージャデータ処理システムの開発

ひまわり8・9号の画像データを地上局で一次処理するためのイメージャデータ処理システム(RDACS)を衛星とともに開発した。このシステムは、地上で受信・復調された観測データを入力し、イメージャデータファイル及び領域コマンドデータの作成等の機能を持つ。ここで出力されたデータは、気象庁の衛星センターに送られ、衛星センターで画像処理され、その画像がユーザーに配信される。

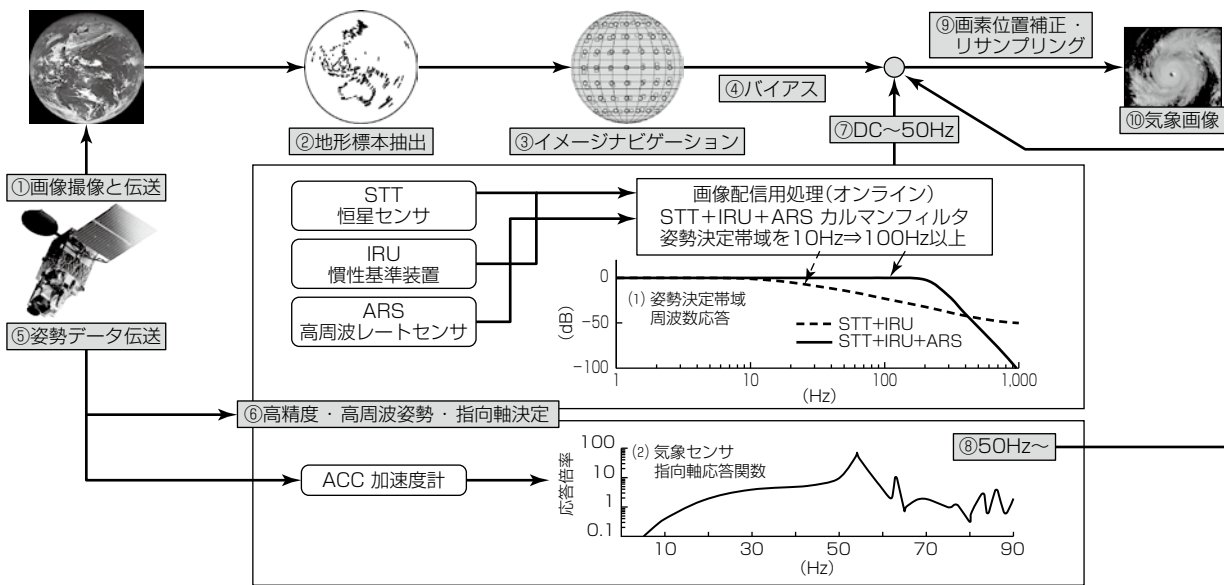


図3. 高精度ジオメトリック校正処理のブロック図

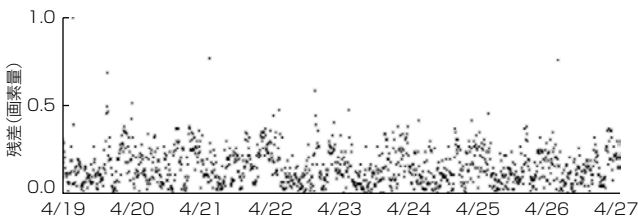


図4. 位置合わせの処理後のデータについて行ったずれ量の残差評価の一例(2015年4月19～27日, 赤外チャンネル13)⁽⁵⁾

3.5 ひまわり8・9号の運用

ひまわり8・9号では、ひまわり7号に比べて高頻度の観測運用が可能になった。

ひまわり8・9号の観測運用は、高機能化した衛星系、最適な領域観測位置を決定する地上系及び活動的な気象状態に対して機動性のあるコマンド運用を実現する運用系との衛星・地上・運用総合システムとして実現する。衛星系では、DS2000衛星バスの自動運用機能と高性能化した放射計によるタイムライン観測機能を用いる。10分間を単位とするタイムラインで、全観測要求を時間管理し、自動運用機能によって24時間365日の観測運用を継続管理する。地上系では、台風の進路予測と発達状況、晴天域の検出、さらに、積乱雲の検出を行い、領域観測位置を決定する。運用系は、衛星系の自動運用を計画管理するとともに、地上系からの領域観測位置情報にしたがって、2.5分間隔又は30秒間隔のコマンド運用を計画実行する。

4. 地上局⁽³⁾⁽⁶⁾

ひまわり8・9号の地上局では、日本で初めて宇宙分野での衛星運用事業にPFI(Private Finance Initiative)方式が採用された。2010年に気象衛星ひまわり運用事業(株)

(HOPE)が“ひまわり8・9号の運用等事業”を受注し、当社はアンテナ設備や衛星管制設備などを担当した。当社にとって初めての宇宙PFI事業であり、安定的な衛星運用と確実なサービス提供を実現させるため、HOPE構成企業の協力の下に信頼性の高いシステム設計及び装置開発を行い、HOPE地上施設・設備が2014年9月に完成した。HOPEは、ひまわり8・9号から受信した観測データを24時間365日中断することなく気象庁へ送り届けることが主な業務である。

4.1 地上施設・設備の概要

ひまわり8・9号の地上施設・設備を図5に示す。主局と副局の2局で構成され、主局のアンテナサイトは埼玉県鳩山町に、主局データセンターは東京都板橋区に設け、副局のアンテナサイトとデータセンターは北海道江別市に設置した。観測データの大容量化に伴って受信周波数にはKaバンドを採用しており、従来のひまわり7号と比べて降雨減衰の影響を受けやすいため、サイトダイバーシティ構成にしている。ひまわり8号からの観測データを常に主局と副局で同時に受信しており、例えば、大規模災害などで関東が大きな被害を受けて主局が機能しなくなった場合にも、副局(北海道)で観測データを受信・処理して運用が継続できる。なお、主局と副局は全て同じ装置で構成しており、機能・性能は変わらず、どちらの局でも同じ運用が可能である。観測データは、HOPEが整備した地上専用回線を通じて東京都清瀬市にある気象衛星センター及び大阪管区気象台へ伝送する。図6にアンテナサイトを示す。

4.2 地上施設・設備の特長

地上施設・設備の主な特長は、①高い稼働率の確保、②高

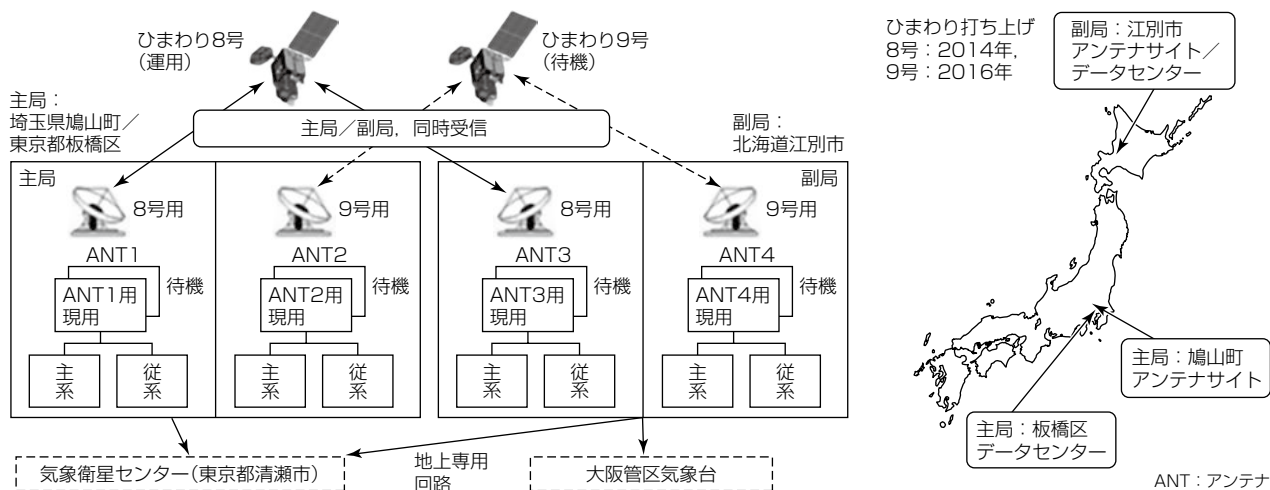


図5. 地上施設・設備



図6. アンテナサイト(北海道江別市)

頻度観測の実現, ③運用の効率化であり, 次にその内容を述べる。

(1) 高い稼働率の確保

局, 設備, 装置の各階層で冗長化するとともに, 受信データについては同時並行処理を行うことで障害発生による観測データの欠損を抑え, 99.99%以上の高い稼働率を確保している。また, 主局及び副局は大規模な災害や降雨での電波障害を同時に受けまいよう, 地理的に離れた関東と北海道に設置し, 各拠点をつなぐ地上専用回線についても二重化している。

(2) 高頻度観測の実現

衛星管制システムには, 当社製の標準衛星管制ソフトウェア“Birdstar”を採用しており, 日本域や台風付近などの領域を2.5分ごとの高い頻度で観測できるよう, 2.5分間隔で確実にコマンド送信が可能なデータ処理システムを実現した。

(3) 運用の効率化

統合監視による運用負荷の軽減や運用計画の自動化を実現し, 長期にわたって効率的な衛星運用が実施できる衛星管制システムを構築した。また, 運用者の作業性向上や操作ミスを防止するため, 設計初期段階から運用者の意見を取り入れて操作画面の設計を行った。

4.3 地上施設・設備の維持管理・保守

長期にわたって安定かつ確実なサービス提供を継続す

るため, 施設・設備の日常点検や定期検査は必須であり, HOPE運用者及び維持管理者と連携して計画的に維持管理・保守業務を遂行している。また, PFI事業では維持管理・保守を含めたライフサイクルコストを十分に考慮して設計することが重要であり, 高信頼性設計に加えて将来の装置交換の容易性などを検討した。障害発生時には即座に冗長系に切り替わって運用を継続するシステムになっているが, 障害復旧時間の短縮や確実なサービス提供のため, 運用者の実機訓練や故障箇所特定フローの整備などを実施してきた。

5. む す び

SDGs(Sustainable Development Goals)への対応として, “気候変動の緩和策と気候変動の影響への適応策”の推進が求められている。当社は, これまでにひまわり7・8・9号だけでなく, 温室効果ガス観測衛星(いぶき, いぶき2号), 衛星搭載マイクロ波放射計(AMSR, AMSR-E, AMSR2)の開発を成功させ, 地球環境観測に貢献してきた。このような国家の重要なインフラの中核を確実に構築するために, 引き続き総力を挙げて取り組んでいく。

参 考 文 献

- (1) 気象庁: 気象業務はいま2019/第1部 国民の安全・安心を支える気象業務
<https://www.jma.go.jp/jma/kishou/books/hakusho/2019/index3.html#toc-113>
- (2) 磯部昌徳, ほか: 気象衛星ひまわりシリーズの開発と運用—ひまわり7・8・9号による, 20年間の気象観測に向けて—, 三菱電機技報, 85, No.9, 536~539 (2011)
- (3) 西山 宏, ほか: ひまわり8号打ち上げ成功と定常運用開始, 三菱電機技報, 90, No.2, 107~110 (2016)
- (4) 田中 敦, ほか: 宇宙利用による地球環境観測への貢献, 三菱電機技報, 94, No.7, 390~393 (2020)
- (5) 別所康太郎: 新しい静止気象衛星ひまわり8号及び9号, 日本気象学会機関誌「天気」, 63, No.12, 1015~1023 (2016)
- (6) 腕野一磨, ほか: 静止気象衛星ひまわり8号・9号の地上システム, 三菱電機技報, 89, No.3, 157~161 (2015)