

Ⅴ 極軌道プラットフォーム搭載用資源探  
査観測システム／次世代合成開口レーダ  
等の研究開発

一般財団法人宇宙システム開発利用推進機構

## E-1 事業の目的・政策的位置付け

### E-1-1 事業目的

石油等の資源に恵まれない我が国において、その安定供給の確保を図ることは、国民の安全・安心な生活の実現及び産業インフラの確保の観点から、国家基盤として必須の重要課題である。

衛星を活用したリモートセンシング(遠隔探知)技術には

(1) 一度に広範囲の地域の分析が可能

(2) 立入りが困難な地域の分析及び開発の有望性に関する評価が可能、等の利点がある。

欧米等の先進諸国においても地球観測のためのグローバルなプロジェクトが進行しており、メジャーにおいても、鉱区取得・権益確保のためには、衛星画像データを用いて地質構造分析を行い、大きな判断材料としている。

我が国においては、地球資源衛星1号(JERS-1)が初の資源探査用衛星としてOPS(光学センサ)及びSAR(レーダセンサ)を搭載し運用(1992年～1998年)されていたが、その開発成果を活かし、高性能化・高機能化を図った後継機の開発が望まれていた。

このような状況の中、本事業においては、光学センサである極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システム(ASTER)及びレーダセンサである次世代合成開口レーダ(PALSAR)を開発し、打上げ後は、その校正・精度評価を実施することによってデータの健全性を維持するとともに、センサの安定した運用を図ることを目的としている。なお、ASTERセンサは平成12年度のミッション運用開始以降、現在も運用を続けており、PALSARは平成23年度に運用を終了している。

#### 「極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システム(ASTER)」

(Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer)

・光学センサ(以下の3つのセンサを搭載)

可視近赤外放射計(VNIR: Visible and Near Infrared Radiometer)

短波長赤外放射計(SWIR: Short Wave Infrared Radiometer)

熱赤外放射計(TIR: Thermal Infrared Radiometer)

・平成11年12月18日打上げ(現在も運用中)

・米国NASAの衛星Terraに搭載

#### 「次世代合成開口レーダ(PALSAR)」

<正式名称は、フェーズドアレイ方式Lバンド合成開口レーダ>

(Phased Array type L-band Synthetic Aperture Radar)

・レーダセンサ(Lバンド合成開口レーダ)

- ・平成 18 年 1 月 24 日 打上げ(平成 23 年 5 月 12 日 運用終了)
- ・JAXA の衛星だいち(ALOS:AdvancedLand Observation Satellite)に搭載。
- ・電子機器部を開発  
(アンテナ構造系については、科学技術庁／宇宙開発事業団(当時)が開発)

## E-1-2 政策的位置付け

### (1) 事業の科学的・技術的意義

世界の堆積盆地を対象に、石油を貯める地質構造と岩石分布の情報を入手して、石油資源の探査から操業までを安全に効率的かつ精度よく行うためには、衛星データの利用が有益であり、それに適合した高信頼・長寿命な衛星搭載用観測センサの開発が必須になる。

### (2) 社会的・経済的意義

衛星搭載用センサを開発することにより、世界に対して我が国の工業技術の高さを示す機会になる。また、人工衛星から得られる観測データを用いたリモートセンシング(遠隔探知)技術の高度化は、効率的な石油資源探査を可能とし、その経済的意義は高い。加えて、近年、資源保有国へのリモートセンシングに関する技術移転は、資源外交において重要な交渉材料となっている。

また、リモートセンシング技術は、資源探査以外の分野にも応用の可能性があり、本事業において開発されたセンサによって取得されたデータの解析技術向上により、さらなる波及効果が見込まれる。

### (3) 国民や社会のニーズ

エネルギー需要は年々増大しており、石油資源の消費もそれにとまって増加している。このまま進めば石油資源の枯渇も懸念されており、国として新たな石油資源の探査開発と、安定確保を図る施策が必須となる。

また、今後の石油資源探査は地理的に不利なところを中心となるため、探査地域の基礎情報(広域地質・地質構造に関する情報)の把握、現地調査計画の策定、試掘位置の決定、補給ルートの把握等について、衛星データはその威力を発揮する。

## E-1-3 国の関与の必要性

我が国のエネルギー政策上必要不可欠である、石油資源の安定供給の確保のためには、上述のとおり、衛星データの利用が効果的である。しかしながら、探査・開発から操業までの期間は長期間を要し、一企業が衛星の開発・運用、取得されたデータの解析等を実施することは、非常にリスクが高い。

したがって、世界的に激化している資源開発競争の中にあっては、国が率先して、

リモートセンシング技術の高度化を押し進め、石油資源開発に資する基盤技術を確立することが重要である。

## E-2 研究開発目標

### E-2-1 研究開発目標

- ・資源探査用観測センサの開発
- ・軌道上運用の継続

### E-2-2 全体の目標設定

表 E-2-2-1 全体の目標

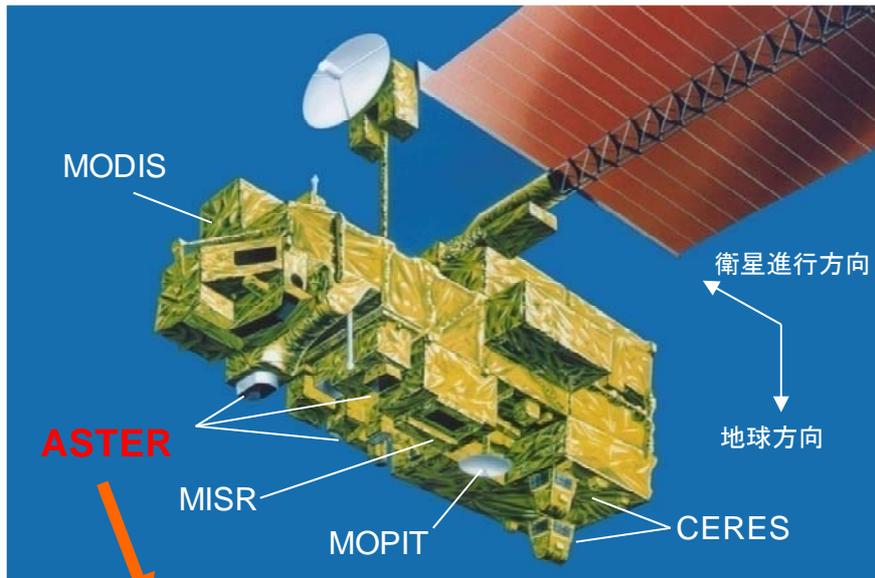
要素技術	目標・指標	妥当性・設定理由・根拠等
<b>資源探査用観測センサの開発</b> ASTER センサの製作 衛星インテグレーション 打上げ 初期軌道チェックアウト	達成(評価済み) 達成(評価済み) NASA(成功) 達成(評価済み)	NASA との国際協力プロジェクトとしてセンサの提供と NASA 支援
<b>軌道上運用の継続</b> ASTER 定常運用(5年間) 後期運用(5年以上)	達成(評価済み) 同左	ミッション要求 エクストラミッション

(注) 定常運用の5年間は、打上げ後の初期チェックアウトを含む期間である。  
後期運用の5年以上は、定常運用の5年間を含む期間である。

### E-2-3 個別要素技術の目標設定

ASTER の後期運用期間において、機器が正常に動作していることを確認し、ユーザへ各種校正を行ったデータを供給すること。

図 E-2-3-1 にASTERを搭載している Terra 衛星及びASTERの構成を示す。



ASTER部の拡大図

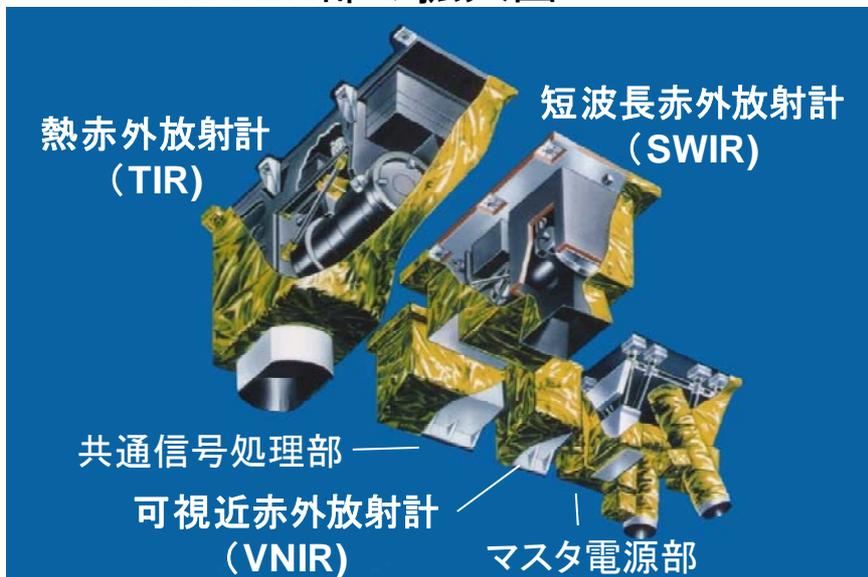


図 E-2-3-1 Terra 衛星とASTERの構成図

表 E-2-3-1 に評価項目、評価指標を示す。

①テレメトリデータの評価

機器の温度、電流等のテレメトリデータが正常な値の中に入っていることを確認するとともに、打ち上げ以降の時間経過に伴う変化を評価することで、機器が正常に動作していることを確認する。

②画像データの評価

あらかじめ設定した場所を定期的に撮像した画像データを解析することで、機器の性能が開発目標仕様を満足していることを確認する。

③校正データの評価

VNIR、SWIR、TIR の各放射計毎に機上校正システムを用いた感度、オフセット値に関する校正データを定期的を取得し、経年変化の評価、その変化分の画像データへの反映のための RCC (Radiometric Calibration Coefficient) テーブルを作成する。

・データ取得: 1回/49日

・RCC テーブル作成: 特性変化に応じて適時

④データトレンドの評価

寿命管理品目、特性値管理品目の動作時間について、状況を管理する。

表 E-2-3-1 ASTER運用目標

項番	運用・評価項目	評価方法(注)	評価概要	評価指標
<b>1. システム/CSP/MPS</b>				
1. 1	動作確認	①	通信インターフェースの確認	正常動作の確認
1. 2	温度テレメトリ	①	温度テレメトリが正常値であることの確認	正常値の確認
1. 3	電圧値	①	電圧テレメトリが正常値であることの確認	正常値の確認
1. 4	電流値	①	電流テレメトリが正常値であることの確認	正常値の確認
1. 5	寿命管理、特性値管理	④	各サブシステムの寿命管理品目、特性値管理品目の値が適切であることの確認	設定範囲内の確認
<b>2. VNIR</b>				
2. 1	MTF(空間周波数特性)	②	直線状のターゲットで評価	仕様達成の確認
2. 2	過渡応答	②	輝度変化の大きな対象で評価	仕様達成の確認
2. 3	ダイナミックレンジ	②	一様な輝度の対象で評価	仕様達成の確認
2. 4	バンド間レジストレーション	②	同一場所を観測したときの差異を評価	仕様達成の確認
2. 5	ポインティング角度精度	①	エンコーダ出力の精度を確認	正常値の確認
2. 6	温度制御特性	①	温度テレメトリが正常値であることの確認	正常値の確認
2. 7	光学校正データ	③	校正データの算出、評価	校正値の更新
2. 8	暗時校正データ	③	オフセットデータの算出、評価	校正値の更新
2. 9	電氣的校正データ	③	校正レベル、ゲインが正常であることの確認	校正値の更新
2. 10	走査幅	②	既知の対象で走査幅を評価	仕様達成の確認
2. 11	立体視角	②	同一時点撮像の時間差から立体視角を確認	仕様達成の確認
<b>3. SWIR</b>				
3. 1	MTF(空間周波数特性)	②	直線状のターゲットで評価	仕様達成の確認
3. 2	ダイナミックレンジ	②	一様な輝度の対象で評価	仕様達成の確認
3. 3	画素間感度偏差	②	一様な輝度の対象で評価	仕様達成の確認
3. 4	ポインティング角度精度	①	設定角度と駆動後の角度の差分を評価	正常値の確認
3. 5	過渡応答	②	輝度変化の大きな対象で評価	正常値の確認
3. 6	冷却性能	①	検出器温度テレメトリが正常であることの確認	正常値の確認
3. 7	温度制御	①	温度テレメトリが正常値であることの確認	正常値の確認
3. 8	オフセット	③	オフセットレベルの算出、評価	オフセット値の更新
3. 9	校正機能	③	校正データの算出、評価	校正値の更新
<b>4. TIR</b>				
4. 1	感度偏差	②	一様な輝度の対象で評価	仕様達成の確認
4. 2	光学校正	③	校正データの算出、評価	校正値の更新

項番	運用・評価項目	評価方法(注)	評価概要	評価指標
4.3	暗時校正	③	オフセットレベルの算出、評価	校正値の更新
4.4	電気校正	③	校正データの算出、評価	校正値の更新
4.5	経年変化評価	①	温度テレメトリが正常値であることの確認	正常値の確認
4.6	検出器温度	①	検出器温度テレメトリが正常であることの確認	正常値の確認
4.7	チョツパ温度	①	チョツパ温度テレメトリが正常であることの確認	正常値の確認
4.8	黒体温度	①	黒体温度テレメトリが正常であることの確認	正常値の確認
4.9	画像信号出力	②	出力データの確認	仕様達成の確認
4.10	ポインティング角度精度	①	設定角度と駆動後の角度の差分を評価	正常値の確認

(注)評価方法

① テレメトリデータの評価、② 画像データの評価、③ 校正データの評価、④ データトレンドの確認

### E-3 成果、目標の達成度

#### E-3-1 成果

##### E-3-1-1 全体成果

極軌道プラットフォーム搭載用資源探査観測システム(ASTER)については、昭和62(1987)年度の調査研究から平成11(1999)年度の設計、製造・試験までの13年間に亘る機器開発期間を経て軌道上に打上げ後、平成12(2000)年度のミッション運用開始から平成27(2015)年の継続運用に至る通算29年間の長期事業であり、今年で16年目となるASTERミッション運用も所期の目標を達成し十分な実績と成果を得ている。

打上げ以降、ASTERセンサによるターゲット観測数は約275万シーンを達成しており、遠隔探知のデータ利用に供する高次プロダクトをユーザに提供している。データ利用の具体的な成果としては、資源探査・有望値抽出の実利用によるリビア、インドネシア等の日本企業石油鉱区獲得やASTERデータの一般ユーザへの利用拡大、及び全球の標高データセット(ASTER GDEM)の作成による世界貢献等を実現している。

また、運用開始以来、ASTERの論文数は合計49件(内英文33件)、講演数は合計33件、その他発表数は合計63件である。

##### E-3-1-2 個別要素技術成果

###### ASTERの成果

ASTERは、地表からの太陽反射光や熱放射に対する観測可能な波長帯が、可視近赤外域、短波長赤外域、熱赤外域と広く、合計14の波長帯に細かく分けて観測することができ、岩石や鉱物の探査や地質構造の識別に優れた機能を有する高性能の光学センサシステムである。

ASTERは、NASAのEOS計画の第1号衛星であるTerra衛星に搭載されて平成11(1999)年12月に打上げられた。軌道上での初期チェックアウトを経て、平成16(2004)年12月に設計寿命5年の定常運用期間を経過し、平成21(2009)年12月には軌道上寿命10年を達成し、さらに現在でも後期運用を継続している。

VNIRは、可視から近赤外域の観測波長(0.52 $\mu$ m~0.86 $\mu$ m)を、光学レンズを透過して、バンド1、2、3N、3BのSi-CCD(Silicon-Charge Coupled Device)検出器により画像データを取得する望遠鏡ポインティング方式のプッシュブルーム型光学センサである。また、VNIRは直下視用と後方視用の2つの望遠鏡で構成されており、直下視望遠鏡のバンド3Nと後方視望遠鏡のバンド3Bとの画像を組合せての立体視機能を有している。

SWIRは、短波長赤外域の観測波長(1.60 $\mu$ m~2.43 $\mu$ m)を、光学ミラーで反射して、バンド4、5、6、7、8、9のIR-CCD(Infrared-Charge Coupled Device)検出器により、画像データを取得するミラーポインティング方式のプッシュブルーム型光学センサである。

TIRは、熱赤外域の観測波長(8.125 $\mu$ m~11.65 $\mu$ m)を、機械的走査ミラーで反射して、バンド10、11、12、13、14の熱赤外検出器により、画像データを取得する走査ミラーポインティング方式のウィスクブルーム型光学センサである。

画像評価では、SWIRは平成20(2008)年5月以降検出器の温度上昇により画素出力が飽和し、画像取得ができなくなったが、VNIRとTIRについてはラジOMETリック性能としての分光特性及びジオMETリック性能としての幾何学的特性を評価し、正常な画像データが取得できていることを定期的に確認している。ラジOMETリック性能については、経年変化によるVNIRとTIRの感度低下を考慮し、必要に応じて感度補正の校正を行っている。ジオMETリック性能については、識別可能な地表分解能(VNIR 15m、TIR 90m)が安定して確保されており、経年変化によるMTF (Modulation Transfer Function)の劣化等のないことを検証している。

健全性評価では、SWIRを含めてVNIRとTIRのテレメトリデータによる機器の正常動作確認、ポインティング動作の累積回数管理、並びに温度・電流・電圧の特性値管理によるトレンド評価を継続して行っている。この中で、ASTERのポインティング回数は、設計寿命5年の有効寿命を既に超えており、信頼性工学で定義されるバスタブ曲線の摩耗故障期にあるとのリスク評価に基づき、異常/故障時の対策として、ASTERの継続運用に係わる緊急対応マニュアルを整備している。

### E-3-1-3 特許出願状況等

#### (1) 研究項目別成果状況

ASTERの研究項目別論文数、講演数、その他は発表数及び特許出願数を以下に示す。

	ASTER
論文数	49(内英文33)
講演数	33
他発表数	63
特許出願数	0

#### (2) 年度別成果状況

ASTERの年度別論文数、講演数及び特許出願数を以下に示す。

平成	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	計
論文		6	6	5	6	2	1	2			1	2		3	1	3	1		1			1	3	2	3	49
講演	4	2		2	1	3	3			1		1	3		3	1			1		2	1	2	2	1	33
他発表		4	4	3	4	9	6	11	8	4	3	1	2	2						1				1		63
特許																										0

注:ASTERは軌道上で運用するため修理ができず、既存技術を用いた高信頼性設計のため、特許出願はない。

### E-3-2 目標の達成度

#### ASTER後期運用の目標の達成度

今回の評価の対象期間とした平成23(2011)年度から平成26(2014)年度は後期運用段階であるが、ミッション期間の目標指針を達成した場合と同様に、国内会議であるIOT (Instrument Operation Team) 会議、日米合同会議であるAST/ACT (ASTER Science Team/ASTER Calibration Team) 会議とNASA/ASTERインタフェース会議として国内外の運用調整をしながらASTER機器運用を進めた。これらを踏えた目標達成度はASTERセンサ委員会で審議され、確認された。目標の評価結果を表3. 2-1に示す。SWIRは、平成11(1999)年12月の衛星打上げから設計寿命5年を達成し、累積寿命8.5年を経過した平成20(2008)年5月以降、検出器の温度上昇により観測データの取得ができなくなった。詳細は後の節で記述する。

表 E-3-2-1 平成23年度～平成26年度ASTER運用目標評価結果

項番	運用・評価項目	評価方法 <sup>(注1)</sup>	評価指標	運用の評価結果
<b>1. システム/CSP/MPS</b>				
1. 1	動作確認	①	正常動作の確認	目標達成
1. 2	温度テレメトリ	①	正常値の確認	目標達成
1. 3	電圧値	①	正常値の確認	目標達成
1. 4	電流値	①	正常値の確認	目標達成
1. 5	寿命管理、特性値管理	④	設定範囲内の確認	目標達成
<b>2. VNIR</b>				
2. 1	MTF(空間周波数特性)	②	仕様満足の確認	目標達成
2. 2	過渡応答	②	仕様満足の確認	目標達成 <sup>(注2)</sup>
2. 3	ダイナミックレンジ	②	仕様満足の確認	目標達成
2. 4	バンド間レジストレーション	②	仕様満足の確認	目標達成
2. 5	ポインティング角度精度	①	正常値の確認	目標達成
2. 6	温度制御特性	①	正常値の確認	目標達成
2. 7	光学校正	③	仕様範囲内に校正	目標達成
2. 8	暗時校正	③	仕様範囲内に校正	目標達成
2. 9	電氣的校正	③	仕様範囲内に校正	目標達成
2. 10	走査幅	②	仕様満足の確認	目標達成
2. 11	立体視角	②	仕様満足の確認	目標達成
<b>3. SWIR</b>				
3. 1	MTF(空間周波数特性)	②	仕様満足の確認	(注3)
3. 2	ダイナミックレンジ	②	仕様満足の確認	(注3)
3. 3	画素間感度偏差	②	仕様満足の確認	(注3)

項番	運用・評価項目	評価方法 <sup>(注1)</sup>	評価指標	運用の評価結果
3.4	ポインティング角度精度	①	正常値の確認	目標達成
3.5	過渡応答	②	正常値の確認	(注3)
3.6	冷却性能	①	正常値の確認	(注3)
3.7	温度制御	①	正常値の確認	(注3)
3.8	オフセット	③	仕様範囲内に校正	(注3)
3.9	校正機能	③	仕様範囲内に校正	目標達成
<b>4. TIR</b>				
4.1	感度偏差	②	仕様満足の確認	目標達成 <sup>(注2)</sup>
4.2	光学校正	③	仕様範囲内に校正	目標達成
4.3	暗時校正	③	仕様範囲内に校正	目標達成
4.4	電気校正	③	仕様範囲内に校正	目標達成
4.5	経年変化評価	①	正常値の確認	目標達成
4.6	検出器温度	①	正常値の確認	目標達成
4.7	チョッパ温度	①	正常値の確認	目標達成
4.8	黒体温度	①	正常値の確認	目標達成
4.9	画像信号出力	②	仕様満足の確認	目標達成
4.10	ポインティング角度精度	①	正常値の確認	目標達成

(注1) 評価方法

①テレメトリデータの評価、②画像データの評価、③校正データの評価、④データトレンドの評価

(注2) VNIRとTIRは、打上げ後10年間以上の軌道上運用でセンサの検出感度が徐々に低下している傾向にあるが、機上校正を行い、画像品質処理に必要な感度補正を行っている。

(注3) SWIRは平成20(2008)年5月以降、検出器の温度上昇により観測画像の取得ができなくなったため、当該項目の目標は未達となった。本不具合はトラブルシューティングにおいて回復不能との処置により、平成21年度以降は適用外とする。

## E-4 事業化、波及効果について

### E-4-1 事業化の見通し

ASTERの利用技術は、石油資源開発分野で有用な情報・技術として実利用に供されている。特に、探査・開発対象地域を選択的に観測できるため、比較的低コストで必要とされる場所の広域地質情報や、ロジスティクス情報、並びに環境に関する経年変化情報が得られ、鉱区取得の意思決定支援や開発・生産に伴う環境監視に活用されている。具体的には、予備調査段階における対象鉱区（鉱区権取得予定地域）の適切な評価、概査段階における有望地域の絞り込みによる地震探鉱位置の決定と合理的な測線配置計画、さらに精査では試掘位置の決定に利用され、各工程におけるリスク軽減に貢献している。また、商用生産に係わるロジスティクス調査（機材・人員等の運搬ルート、施設配置計画の決定に係わるもの）等にわたる広汎な工程にも利用されている。

すなわちリモートセンシング事業で地球観測データの利用促進を図るには、

- ①観測（ミッション）要求の最適化、
- ②観測データの継続提供が重要である。

ASTERは、利用者の意向を反映して、石油資源開発に必要なデータを収集できるような観測機器を最適化するとともに、長期運用を行うことにより観測データの継続提供に寄与している。

### E-4-2 波及効果

#### （1）石油資源開発分野における波及効果

ASTERの研究開発で得られた技術は次に続く観測センサの研究開発に活用することができる。ASTERセンサに搭載された各種観測機器の観測波長域は後発の地球観測衛星にも採用されており、これら衛星から得られたデータは、継続して地球資源開発分野で活用されている。

#### （2）その他の波及効果

ASTERで取得された観測データは事業目的に加えて次に示す分野で利用されており、また利用が期待されている。

##### 1) 気候変動・温暖化観測

地球温暖化対策として植林活動によって炭素吸収源を増大させること、あるいは熱帯雨林等の森林伐採を減少させることによって吸収源を持続させることが、地球温暖化対策として温暖化ガスの排出削減と同様の効果を有するので、森林のバイオマス計測は重要な分野である。

ASTERのマルチスペクトルデータは、植生の分布状況やその変化、地表温度分布などの把握から地表面と大気との相互作用、雲のタイプ分けや大気中のエアロゾルの特性などの把握に有効である。

## 2) 水循環・海象観測

TIRセンサの搭載により海水の測温が可能となり、水資源への観測に有効に働いている。

## 3) 地図作成

ASTERは立体視機能を有しており、地表分解能15mの地形図作成能力がある。さらにASTERでは高次処理データとして正射画像(オルソ画像)も作成しており、地形図・土地被覆図作成データだけでなく地理情報システムのベースレーヤとして利用可能である。

## 4) 資源分布モニタリング

金属鉱物資源分野では、本研究開発事業の成果である地質区分・地質構造解析等に直接応用できる分野である。特にASTERの高性能スペクトルデータは、金属資源の開発においても活用されている。

## 5) 環境モニタリング

①環境モニタリング分野においては、ASTERによる沿岸域環境モニタリング技術は、水質汚染や海水温度の監視等に有用である。また、環境汚染の防止を目的とした船舶事故あるいは不法投棄による海上流出油の検出、不法廃棄物(特に金属製廃棄物)に対するモニタ等への応用にASTERの観測データが使用できる。

②ASTERと地質マッピングとの組み合わせによって、地殻表層の状態把握が可能となり、大規模な地殻変動の予測も可能にすると考えられる。また、赤外スペクトルにおいて硫化ガスのモニタリングができるため、火山ガスの大気中への放出の評価とその影響把握が可能であり、火山噴火のモニタリングへの活用が可能である。

## E-5 研究開発マネジメント・体制・資金・費用対効果等

### E-5-1 研究開発計画

評価年度における本研究開発事業の目的は、ASTERにおいては後期運用での健全性を評価して、適切にセンサの運用を行うことである。それらの目標を達成するため、計画を立て、実行している。

なお、全体の計画を、図 E-5-1-1 にて示す。



## E-5-2 研究開発実施者の実施体制・運営

### ASTERの実施体制

(1) ASTER後期運用に当たっては、ASTER開発を担った旧JAROSから引き継いだJ-spacesystemsが担当し、各種センサデータの評価を実施している。現在も定期的に米国 NASA との会議を開催し、衛星側との調整を図っている。また、ユーザからのデータ取得要望に基づく最適な観測計画の立案及びセンサ運用、観測生データから標準処理データの作成作業も旧ERSDACからJ-spacesystemsが引き継いで分担している。

図 E-5-2-1 にASTERに関して経済産業省が統括する事業体制図を示す(太枠着色部分が、本事業で実施した範囲である。)

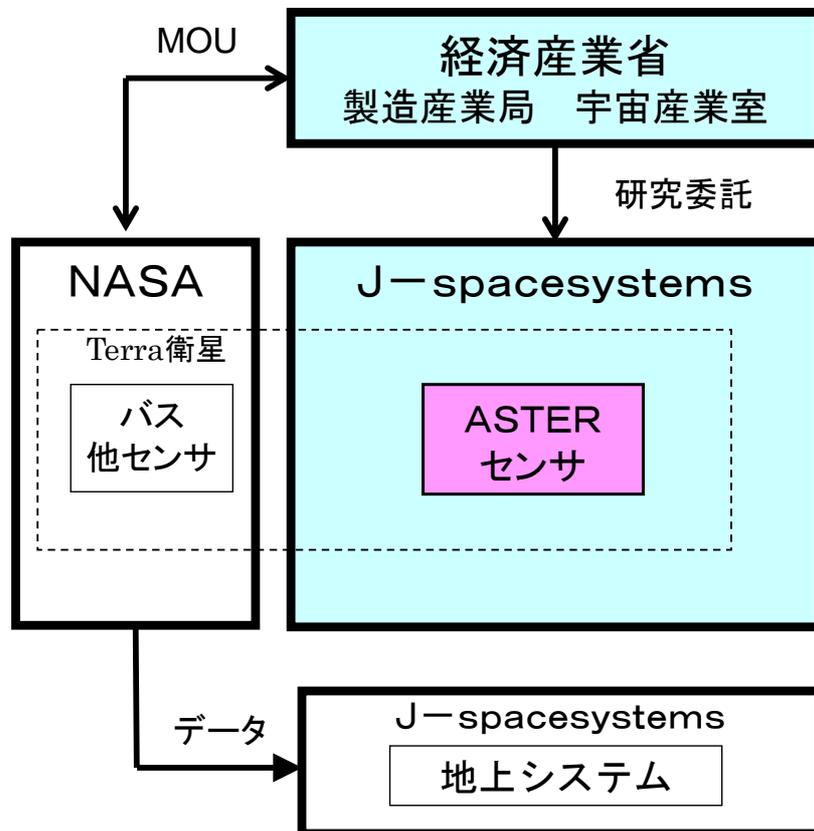


図 E-5-2-1 事業体制図

(2)プロジェクトマネージャの選任等、全体を統括する環境整備  
・プロジェクトマネージャ等の選任

ASTERの研究開発事業の全体統括はJ-spacesystemsの専務理事が担当し、技術開発本部長／ミッション開発部長のもとにASTERインストルメントプロジェクトマネージャを設置してASTERセンサのプロジェクト管理を行う。

図 E-5-2-2 に、ASTERインストルメントのプロジェクトマネージャ関連図を示す。

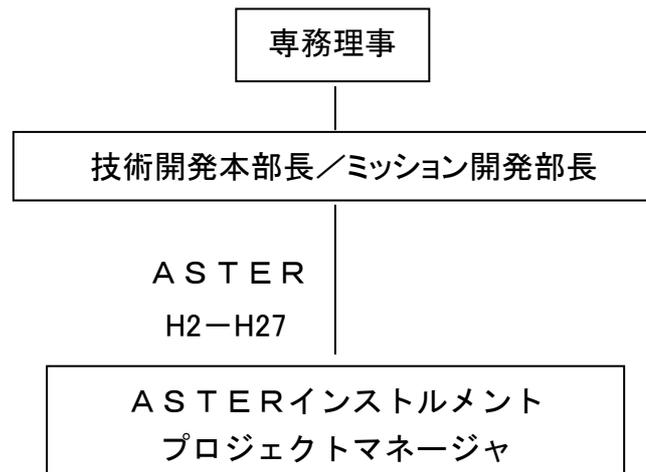


図 E-5-2-2 プロジェクトマネージャ関連図

(3)意思決定、進捗状況、計画見直し等の検討

本研究開発は、研究内容の確認・検討・修正の後に確定された実施計画によって遂行する。

研究実施に際しては、研究の進捗状況に応じて、プロジェクトに設置された委員会(※)の指導のもとに進捗状況の確認・見直し・修正を行い、その実施した結果を成果報告書として年度毎にまとめ、成果を評価・検討し、次年度以降の研究計画へ反映している。

(※)設置した委員会

ASTERセンサ委員会

- ・機上校正WG
- ・クーラWG

(4) 目標達成及び効率的実施のために必要な実施者間の連携

ASTERの運用段階においては、日本の関連研究者、米国 NASA の研究者からなるサイエンスチームを構成し、地上システムのインタフェース調整や、利用ユーザの立場からの観測データの画像検証、年次変化の校正作業などを毎年継続的に実施している。

(5) 成果の普及と関与の体制

J-spacesystemsにはASTER運用に携わる地上データシステム(GDS)プロジェクトとそのデータを利用するサイエンスプロジェクトが設置されている。ASTERインストルメントプロジェクトはASTERの成果物の受け取り手であるASTER GDSプロジェクト及びASTER サイエンスプロジェクトとの相互間でトリニティ体制のチームASTERとして密接な情報交換を行っている。

また、研究開発を行っていく上で不可欠である関連情報の収集等については、基礎的な技術動向調査として本事業開始から継続して実施し、国内外の関連学会へ参加し、成果の発表と情報収集に努めている。さらに、海外の最先端技術を把握する目的で、主な宇宙関連機関の技術動向調査を行っている。

E-5-3 資金配分

(1) 資金の各要素技術への内部配分について

1) ASTERの資金配分

後期運用段階における平成23(2011)年度から平成26(2014)年度のASTERの資金配分(支出額)を表 E-5-3-1 に示す。

表 E-5-3-1 ASTER資金配分 (単位:百万円)

研究開発項目 <sup>(注)</sup>	平成 23 年度	平成 24 年度	平成 25 年度	平成 26 年度	合計
ASTER運用評価の全体取りまとめ	11.0	19.1	19.9	22.0	72.0
SYS運用評価	6.3	10.5	11.2	11.9	39.9
VNIR運用評価	7.0	13.6	10.5	10.8	41.9
SWIR運用評価	5.9	15.2	12.1	10.4	43.6
TIR運用評価	8.4	16.3	10.1	10.8	45.6
MPS運用評価	2.4	5.3	4.2	4.1	16.0

(注)

・ASTER 運用評価の全体取りまとめ: ASTER 機器全体の運用評価に関する全体取りまとめ及び NASA、GDS、サイエンスチームとのインタフェース調整等

- ・SYS 運用評価: ASTER の各放射計の組合せによるシステム運用評価及び健全性の確認等
- ・VNIR 運用評価: VNIR テレメトリの監視と健全に運用するための対応、VNIR 校正係数の定期取得とデータ整理等
- ・SWIR 運用評価: SWIR テレメトリの監視と健全に運用するためのサブシステムとしての解析・評価、SWIR 検出器の温度上昇に対するトラブルシューティングと原因究明のための要因分析等
- ・TIR 運用評価: TIR テレメトリの監視と健全に運用するためのサブシステムとしての解析・評価、TIR 校正係数と機器評価のために画像データの定期取得とデータ整理等
- ・MPS 運用評価: 電源部に関するテレメトリデータの評価と電源を健全に運用するための解析評価

#### E-5-4 費用対効果

資源探査観測システムの活用に関し、使用する衛星データについての性能および経済的な比較検討を行った。平成25年以前は ASTER のように、可視近赤外、短波長赤外及び熱赤外データやステレオデータをすべて備えたセンサは国内外に存在しなかったが、平成26年から熱赤外(TIR)データ以外は米国 DigitalGlobe 社の WorldView-3 によって代替が可能となった。表 E-5-4-1 に代替可能な衛星データとの仕様比較を示す。

表 E-5-4-1 代替可能な衛星データとの仕様比較

センサ名称	主な仕様			
	空間分解能	観測幅	スペクトル帯域	立体視
ASTER	VNIR:15m、 SWIR:30m、 TIR:90m	60km	VNIR,SWIR,TIR	同一軌道立体視
WorldView-3	VNIR: 1.24m、 SWIR: 3.70m	13.1km (直下)	VNIR,SWIR	ポインティング立体視

しかしながら経済的な面を考えると、空間分解能や 1 シーンの大きさが大きく異なるため、その比較は難しいものの、仮に面積単位の販売価格を単純に比較した場合、WorldView-3 は未定ながら ASTER の数百倍～数千倍であることが想定され、既存の ASTER に比べてデータの入手に掛る費用は桁違いとなる。広域探査のような、高分解能のデータや新規のデータを使用する必要性がなければ、ASTER を利用する方が経済的に優れている。

その他、有人および無人航空機等を利用した観測データによる代替は可能であるが、実際には他国の領空内を自由に飛行しデータを取得することは困難なため代替手段とはなりえない。従って、ASTER は資源探査に関する有効な費用対効果が得られているものと考えられる。

## E-5-5 変化への対応

### (1) 社会経済情勢等周辺の状況変化への対応

石油を供給する油田地域の状況変化とともに油田の周辺地域の環境を含めて地域保全なども義務づけられるようになった。このような社会情勢変化に対して衛星データ利用においても対応の変化が必要になった。つまり、衛星データを利用するチームは、ASTER運用開始後に「地表面被覆変化モニタリング技術開発」、「沿岸域の濁度観測技術開発」等を進めてきた。また、海域のオイルスリック抽出技術もタンカー等からの油漏れ汚染観測に応用可能である。

世界の地球観測衛星に搭載されているセンサの内、ASTERと同等の中分解能センサとしては米国のランドサット、仏国のスポットがある。これらのセンサは継続的に運用されてきたが、現在ではランドサット5号は運用停止であり、ランドサット7号は不具合により制限つきで運用されている。後継機のランドサット8は平成25(2013)年2月に打上げられ、ASTER搭載のTerra衛星と同一軌道の衛星コンステレーションによる運用観測を行っている。

### (2) ASTER運用に影響を与える情勢変化と対応

#### 1) VNIR/TIRの感度低下

長期運用におけるASTER観測画像のラジオメトリック性能を維持するために、太陽反射光の放射輝度に対するセンサの検出感度との対応づけを行い、センサの入出力特性を定量的に把握していくことが必要である。そのため軌道上において定期校正を行い、VNIRはハロゲンランプを用いた光学校正を、TIRは標準黒体を用いた温度校正を実施している。

光学センサとしてのASTERは、打上げ後から15年を越えての長期運用において、ラジオメトリック感度の経年変化が進行している。

・VNIRでは、打上げ時からのバンド1の感度が約31%低下しており、同様にバンド2は約24%、バンド3は約19%低下している。

・TIRでは、打上げ時からのバンド12の感度が約50%低下しており、同様に他の4つのバンドも約18%～33%低下している。

・SWIRは、軌道上7.5年間において、6つのバンドの感度は約2%の低下であったが、平成20(2008)年5月以降、検出器の温度上昇により画素出力が飽和し、画像取得ができなくなった。

VNIRとTIRについては、センサの感度トレンドの変動に合わせて、観測データの画像処理に必要な感度補正の校正値を適時更新していくことにより、継続的に利用価値の高い品質の画像を生成している。

これらの状況において、ASTERの感度低下として、VNIRとTIRについてのFTA(Fault Tree Analysis)による要因抽出の網羅性と複合要因の関連性を分析し、原因究明の検討を行った。VNIRとTIRの機上校正の感度低下に関するFTAを図

E-5-5-1 と図 E-5-5-2 に示す。

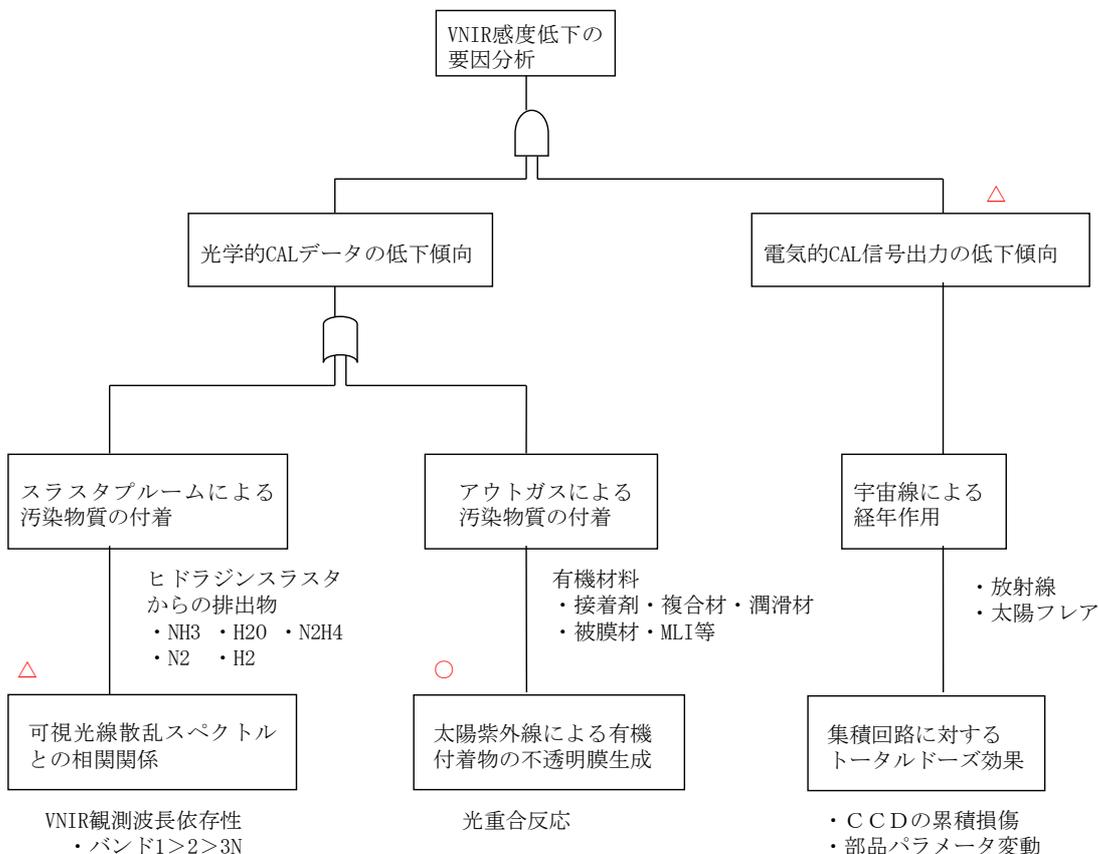


図 E-5-5-1 VNIRの機上校正の感度低下に関するFTA

VNIRの感度低下は、観測画像と機器の健全性評価から、以下に示す3つの複合要因が考えられる。【要因－2】が主要因と考えられるため、推定原因の評価と検証を行った。

【要因－1】スラスタプルームによる排出物(NH3、H2O、H2H4、N2、H2)の付着  
あるいは蒸発・散乱による低温部への再付着によって、光学レンズ系に長期的な物理的吸着を積み重ねることにより、透過性能が低下したものと推定される。特に、VNIRの観測波長特性と光散乱スペクトルとの相関関係に、感度低下のバンド依存性(バンド1>2>3N)が見られることから、スラスタプルームによる排出物が感度低下の原因として寄与している可能性がある。  
軌道上検証の結果、主要因である可能性は小さいことを確認した。

【要因－2】アウトガスとして光学面に付着した有機物が、UVとの光重合反応による

化学的吸着によって、光学レンズ系が長期的に暗色化することにより透過性能が低下したものと推定される。すなわち VNIR の透過性能低下には、シリコン等からのアウトガス付着と太陽光に含まれる真空紫外線との相乗効果が寄与している可能性が大きい。

このことから、シリコンアウトガスに対する真空紫外線による特性変化についての影響評価を行い、経時的変化の可能性を確認した。

【要因－3】画像信号経路の電気的性能評価を行う画像校正信号の出力レベルに低下傾向が全バンドに共通して見られることから、宇宙放射線による長期的な電気回路のデバイスや電子部品に対するトータルドーズの影響が考えられる。

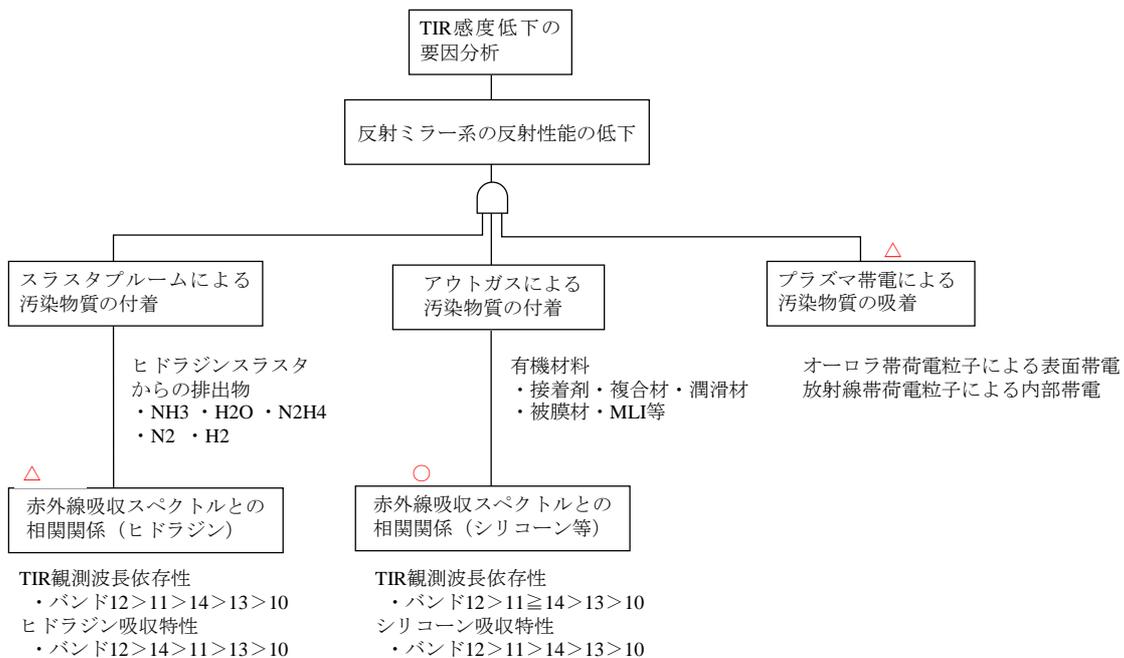


図 E-5-5-2 TIRの機上校正の感度低下に関するFTA

TIR の感度低下は、観測画像と機器の健全性評価から、以下に示す要因分析により【要因－2】が主要因と考えられるため、推定原因の評価と検証を行った。

【要因－1】スラスタプルームによる排出物(NH3、H2O、H2H4、N2、H2)の付着あるいは蒸発・散乱による低温部への再付着によって、反射ミラー系に長期的な物理的吸着を積み重ねることにより、反射性能が低下したものと

と推定される。特に TIR の観測波長特性とヒドラジンの赤外吸収スペクトルとの相関関係に、感度低下のバンド依存性(バンド 12>14>11>13>10)との一致が見られることから、ヒドラジンが感度低下の原因として寄与している可能性がある。

軌道上検証の結果、主要因である可能性は小さいことを確認した。

**【要因-2】**真空環境下において有機材料であるシリコーンのアウトガスとして放出されたシロキサンが、反射ミラー系を汚染し、経年変化により反射性能が低下したものと考えられる。TIR の観測波長特性とシロキサンの赤外吸収スペクトルとに相関関係があることから、シリコーンによるアウトガスが感度低下の原因として寄与している可能性がある。また、TIR の反射性能低下は、シリコーンのアウトガスであるシロキサンが真空紫外線による化学的吸着の特性変化を生じ、吸収スペクトルの変化をもたらした可能性が大きい。

このことから VNIR と同様に、シリコーンアウトガスに対する真空紫外線による特性変化についての影響評価を行い、経時的変化の可能性のあることを確認した。

**【要因-3】**プラズマ帯電による汚染物質の吸着による影響は、TIR の感度低下に対するバンド依存性との相関関係が認められていない。  
主要因となる可能性は小さい

## 2) SWIRの温度上昇

SWIRは、平成11(1999)年12月の衛星打ち上げから設計寿命5年を達成し、累積寿命8.5年を経過した平成20(2008)年5月以降、検出器の温度上昇により観測画像の取得ができなくなった。SWIRの温度上昇現象の経緯を、以下に示す。

平成11(1999)年12月の Terra 衛星打ち上げ以降SWIR温度が漸増し、温度低下策として Terra CPHTS(Capillary Pumped Heat Transport System)コールドプレートの設定温度変更を計3回実施し、コールドプレートの温度は下限状態となっている。また、平成16(2004)年9月にSWIRの温度ジャンプが発生し、スターリングサイクル方式のSWIRクーラはフルストローク状態となり、検出器温度を77K で安定化することが困難になった。その後SWIRの再起動を何度か行い、SWIR各部温度の漸増は止まったが検出器温度は87K 位まで上昇した。

この対策として、SWIRクーラの運用条件変更を試行し、最終的に77K、6mm から83K、6mm に変更した。これにより平成21(2009)年1月のSWIR再起動以降、検出器温度は上昇したものの現在131K 付近で安定状態にある。

ASTERセンサ委員会クーラ WG の活動を通して、SWIR検出器の温度上昇による画像取得不具合に関する原因究明の検討を行い、現象発生以降に実施したSWIR

の再起動対策による確認結果を含めて、推定原因の要因抽出と分析を実施した。  
SWIR検出器の温度上昇に関する FTA を図 E-5-5-3 に示す。

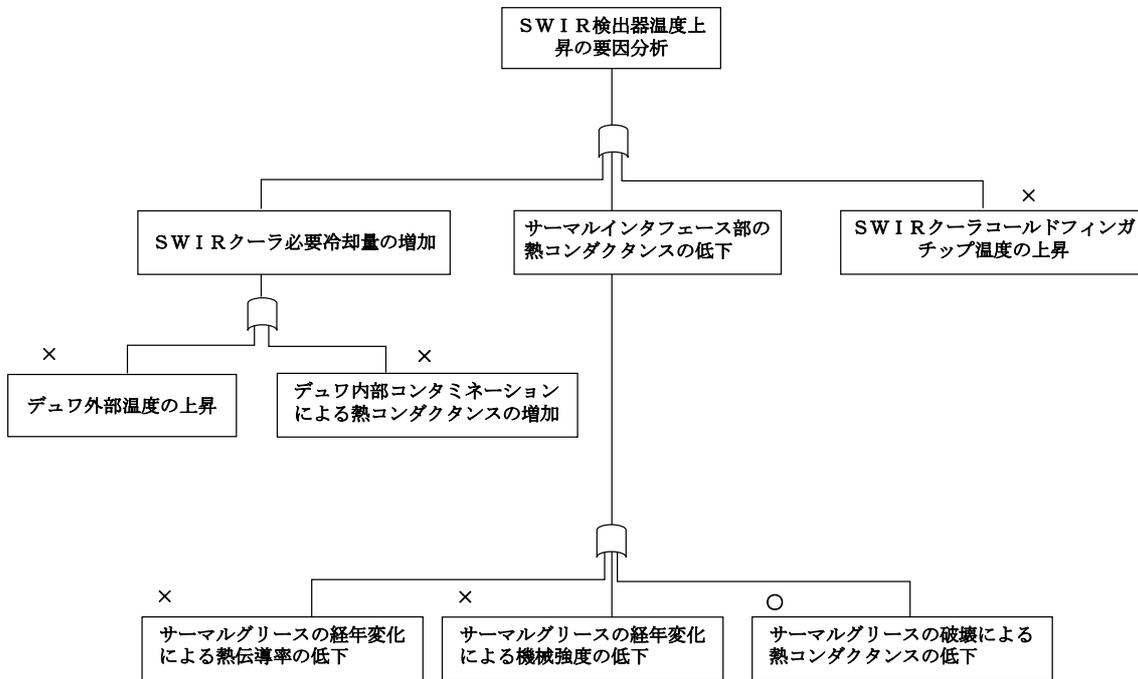


図 E-5-5-3 SWIR検出器の温度上昇に関する FTA

SWIRの温度上昇は、観測画像と機器の健全性評価から、以下に示す要因分析により【要因－2】が主要因と考えられるため、推定原因の評価と検証を行った。

【要因－1】検出器温度上昇の外部要因として、デュワ外部温度の上昇やデュワ内部のコンタミネーションによる輻射熱侵入量の増加が考えられるが、機部各部の温度は安定しており、デュワ温度は健全に維持されていることを確認した。

【要因－2】検出器温度の必要冷却量の熱伝達経路であるサーマルインタフェース部の熱結合が低下している可能性がある。そのため、検出器とクーラのコールドフィンガ間を熱結合しているサーマルグリースについて、経年変化による熱伝導率の低下、経年変化による機械的強度の低下及び剥離破壊による熱コンダクタンスの低下に関する要因特定の評価試験を行った。サーマルグリースの低温評価試験の結果、シリコンコンパウンドのサーマルグリースは極低温下の固化過程において、クールダウン等の繰返し熱応力により、低温破壊が伸展することを確認した。

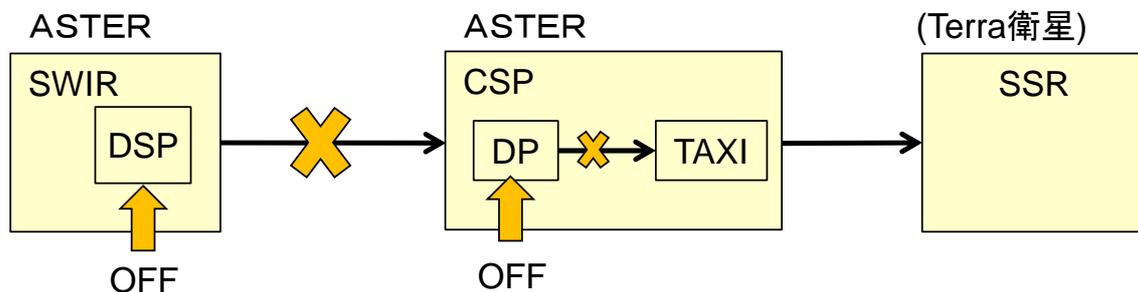
しかるに、現状での検出器温度は131Kで安定した状態にあり、サーマルグリースが全ては剥離しているのではなく、クーラからの熱結合を一部維持していると考えられる。

【要因-3】スターリングクーラのコールドフィンガの温度が上昇するケースについては、クーラのコンプレッサ及びディスプレイサが正常に動作していることをTLMデータトレンドにより確認しているため、該当しない。

### 3) SWIR機上データの配信停止処理

ASTERミッション運用に関するASTERサイエンスチームからの要求を受けて、画像データが無効となっているSWIR機上データの配信停止処理を実行した。具体的には、ASTER SWIRと共通信号処理部のデータ処理回路をOFFして、ASTERのフルモード観測を行ってもSWIRのデータがTerra衛星のSSR(Solid State Recorder)に出力されないようにした。

これにより、ASTERデータのSSR容量をVNIRデータとTIRデータに、+25%有効利用することが可能となった。



### (3) 今後の変化の予測とリスク対策

Terra衛星は、平成26(2014)年12月に打上げ後の軌道上運用15周年を迎えた。衛星バスの健全性については、NiH<sub>2</sub>バッテリーの一部に不具合が発生しているが、負荷放電による発熱で温度低下を防ぐ運用対策を行っており、問題はない。

また、ASTERセンサはTerra衛星と同様に平成26(2014)年12月で軌道上運用15年になるが、SWIRを除くASTER機器は正常に動作している。

これらの状況を踏まえて、今後のASTER運用において予測される情勢変化とリスク対策を以下に示す。

#### 1) ASTERコンティンジェンシー・プラン

ASTERセンサの継続運用に係わるリスク対策として、コンティンジェンシー発生時におけるASTER不具合処理フローについてNASAとの調整を行った。

ASTERの軌道上不具合については、想定不具合と想定外不具合に分けて対応する。

ASTERの想定不具合としては、

- ① TIR CPHTSのフラクチュエーションによるTIRのシャットオフ
- ② Terra衛星バッテリーのパワーダウンによるVNIRとTIRのスイッチング運用
- ③ TIRまたはVNIRのセンサ不具合によるVNIRまたはTIRの単独運用

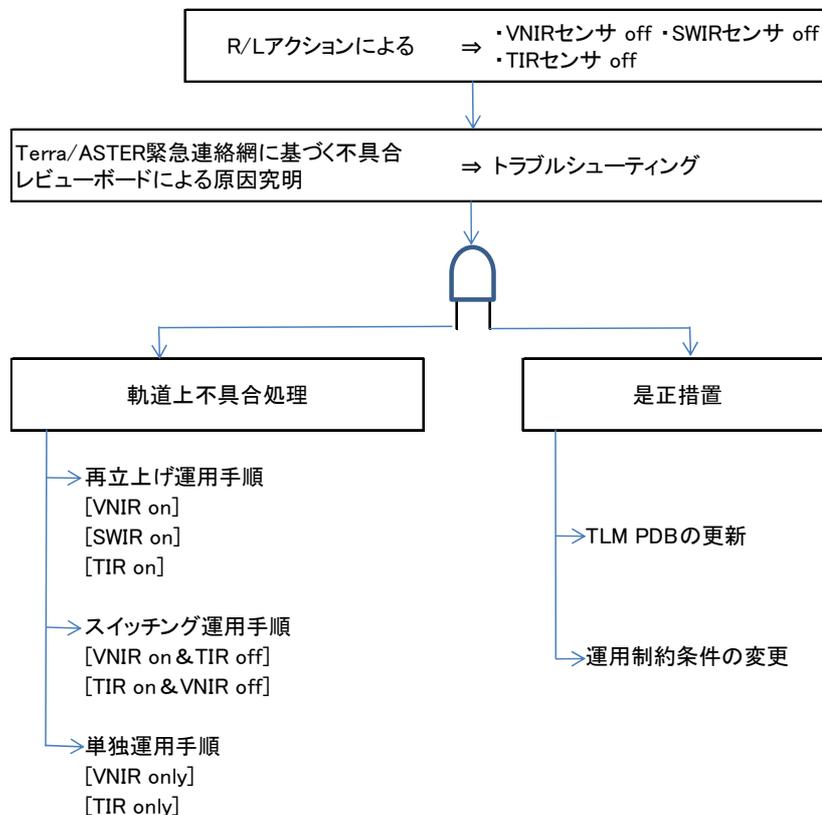
が考えられる。

典型的な不具合処理フローとしては、TLMのRed LimitアクションによるASTER機器のOFFが生じた場合、ASTER IOTのアノマリ・レビューボードを開催して、関係者によるトラブルシューティングを検討する。同時に並行してNASA FOTとASTER IOT間での連絡と調整を行い、アノマリの調査と解析及びリカバリプランを提示する。

以下に、コンティンジェンシー発生時におけるASTER不具合処理フローを示す。

#### ASTERセンサ不具合処理フロー

- 1. ASTERセンサの現状 : ASTERセンサは正常に動作しており、SWIRを除いた観測を実施している
- 2. ASTERセンサの想定不具合 : [CASE-1]TIRフラクチュエーションによるTIRシャット・オフ  
[CASE-2]衛星バッテリーの電力低下による縮退運用  
[CASE-3]TIR/VNIR寿命故障によるVNIR/TIR単独運用



## 2) Terra衛星／ASTERルナーCAL計画の相互調整

NASAからオファーのあったTerra衛星のEnd of Missionにおけるスペシャルアクティビティとして、ASTERルナーCALを計画している。

ASTERルナーCALは、オンボードCAL、バイキャリアスCALに対する第3のCAL手法として、次のような成果を得ることができる。

[平成15(2003)年時のルナーCAL画像]

- ① ラジオメトリック感度の高輝度観測と月面反射モデルの高精度化
- ② VNIR の感度低下に対するオンボード CAL とバイキャリアス CAL との比較・検証



- ③ TIR のダイナミックレンジの広がりにより可能となった TIR の月画像取得による評価  
(温度-放射率分離評価の可能性を含む)

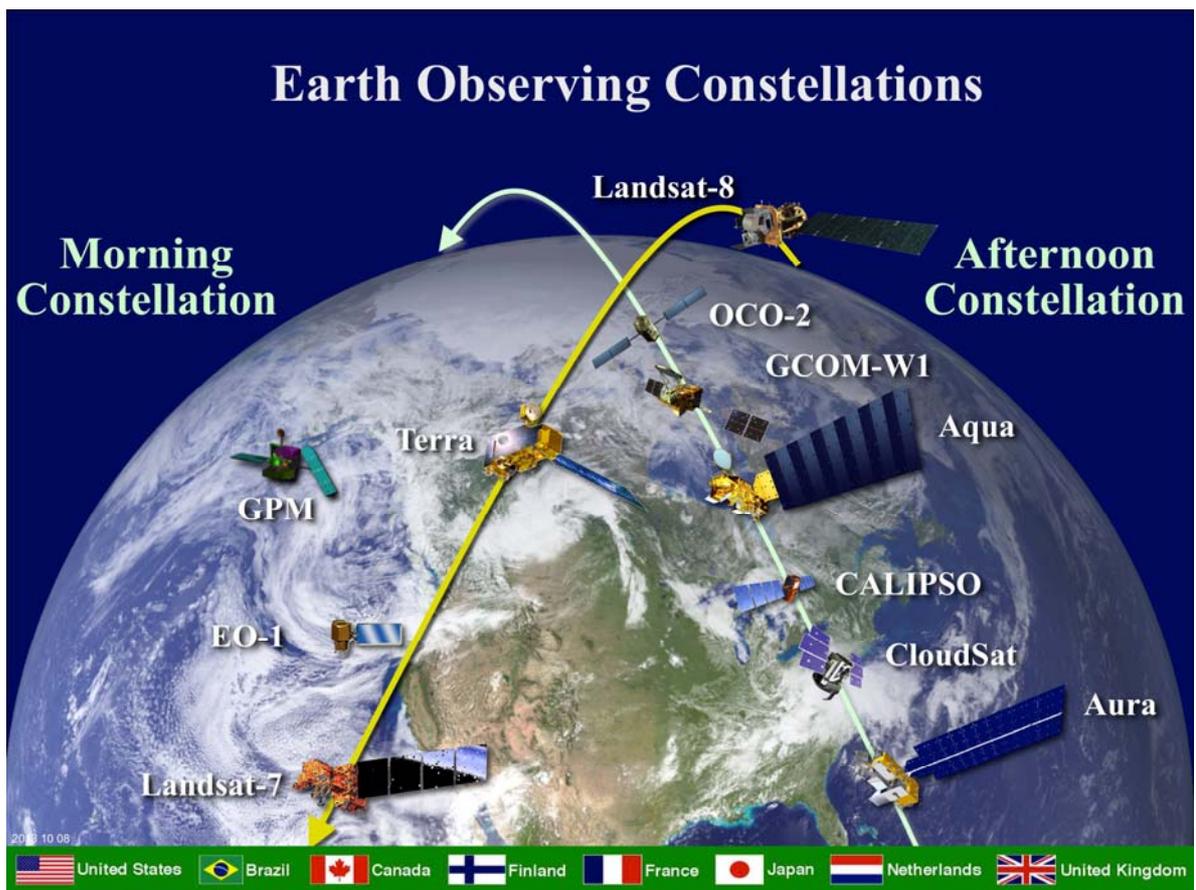


ASTER ルナーCAL は平成15(2003)年に一度実施されており、同様の条件で実施するための計画や手順はマイナーな変更で対応可能である。

2回目のルナーCAL のベストタイミングとして、平成28(2016)年～平成29(2017)年頃の実行計画をNASA 側に提案している。

## 3) Terra衛星／ASTER End of Mission Planの相互調整

ASTERを搭載しているTerra衛星は、NASAの地球観測コンステレーションに参加している。衛星コンステレーションは、複数の衛星を同一軌道上に配置することによって、同一のターゲット観測を可能とするバーチャルなプラットフォームを形成している。



(NASA提供)

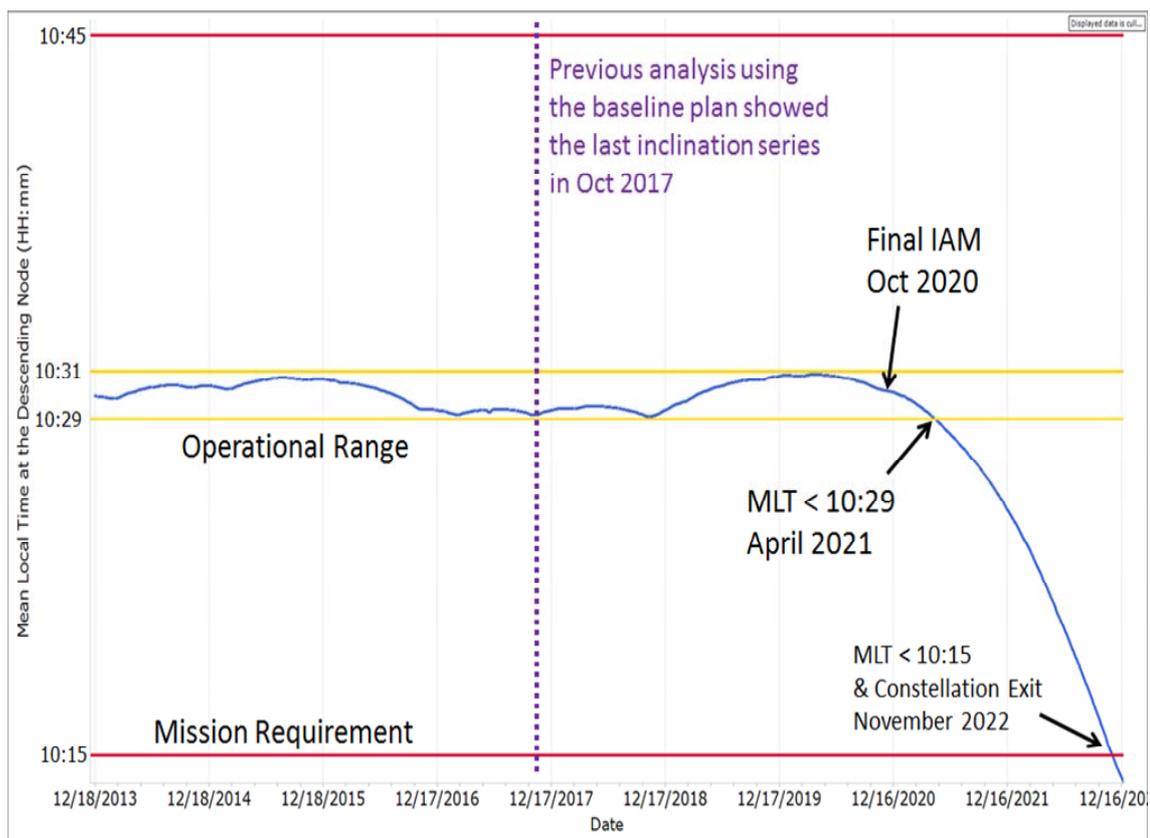
Terra 衛星は、平成 32(2020)年頃まで太陽同期準回帰軌道を維持した後、End of Missionの第1段階として降交点通過地方時(Mean Local Time)を10:30±1 分から10:30-15 分への軌道ドリフトに移行する。その後、End of Missionの第2段階として約1-2年経過後に軌道低下を行い、モーニング・コンステレーションから離脱する予定である。

NASAのEnd of Mission Planに対するASTER観測運用への影響について検討した。

第1段階のMLTドリフト・フェーズと第2段階の軌道低下によるコンステレーション離脱フェーズについての詳細を、以下に示す。

① MLT ドリフト・フェーズ(降交点通過地方時、10:30 → 10:15)

太陽同期軌道におけるTerra衛星のMLT要求は、降交点通過地方時 10:30 AM ± 15 分である。



(NASAによる解析)

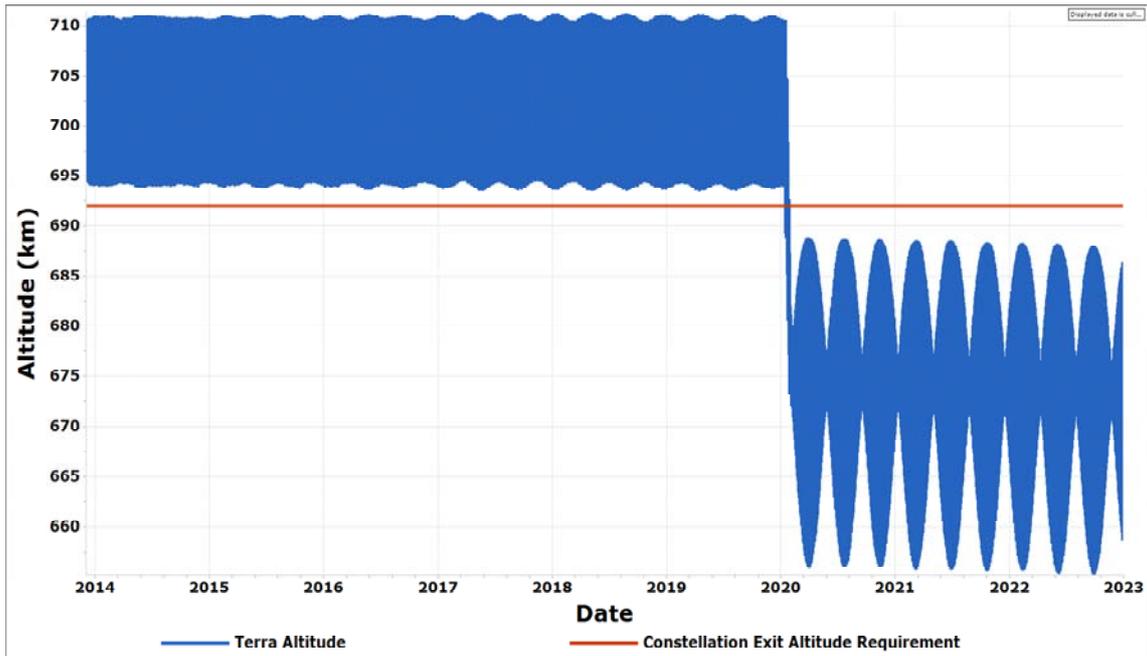
MLTドリフトについては、10:30±15分の要求範囲であり、ASTERの観測運用に、支障はない

## ②コンステレーション離脱フェーズ

軌道低下後の衛星高度

- ・アポジー高度: 711km → 688km (△23km)
- ・ペリジー高度: 695km → 656km (△38km)

モーニング・コンステレーション離脱後のアポジー高度は、692km以下にすることが要求されている。



(NASAによる解析)

Terra衛星の軌道低下後の平均高度(705km → 675km)における ASTER 検討結果を、以下に示す。

- [VNIR]
- 重点変動 : N/A
  - 空間分解能 : 15m → 14.4m
  - 観測幅 : 60 km → 57.6 km
  - 立体視角(B/H) : 0.6 → 0.5965

- [TIR]
- 重点変動 : N/A
  - 空間分解能 : 90m → 86m
  - 観測幅 : 60 km → 57.6 km
  - 軌道低下前にスラスタ噴射によるコンタミネーションを避けるために TIR ミラーを CAL 位置(収納状態)にする。

第2段階の軌道低下によるコンステレーション離脱フェーズについては、軌道高度の低下が小さいため、ASTER観測性能に大きな変化はない。