

X線天文衛星「ひとみ」(ASTRO-H) の状況について

平成28(2016)年4月15日
国立研究開発法人
宇宙航空研究開発機構

本資料における時刻は注記のあるものを除いて全て日本時間(JST)で記述しております。

(空白)

本日のご説明内容

- 平成28年3月26日 16:40に発生したASTRO-Hの運用異常の前後において、「姿勢異常」、「物体の分離」、「通信異常」の3つの事象が発生していることをこれまでご報告してきた。
- 本日は、「衛星状態正常」から「姿勢異常」が発生し、「物体の分離」に至るまでについての有力なメカニズムが推定できたため、ご報告する。
- 今後、「通信異常」のメカニズムを明らかにする。
- また、上記のメカニズムに至った背後要因について、調査を進めていく。

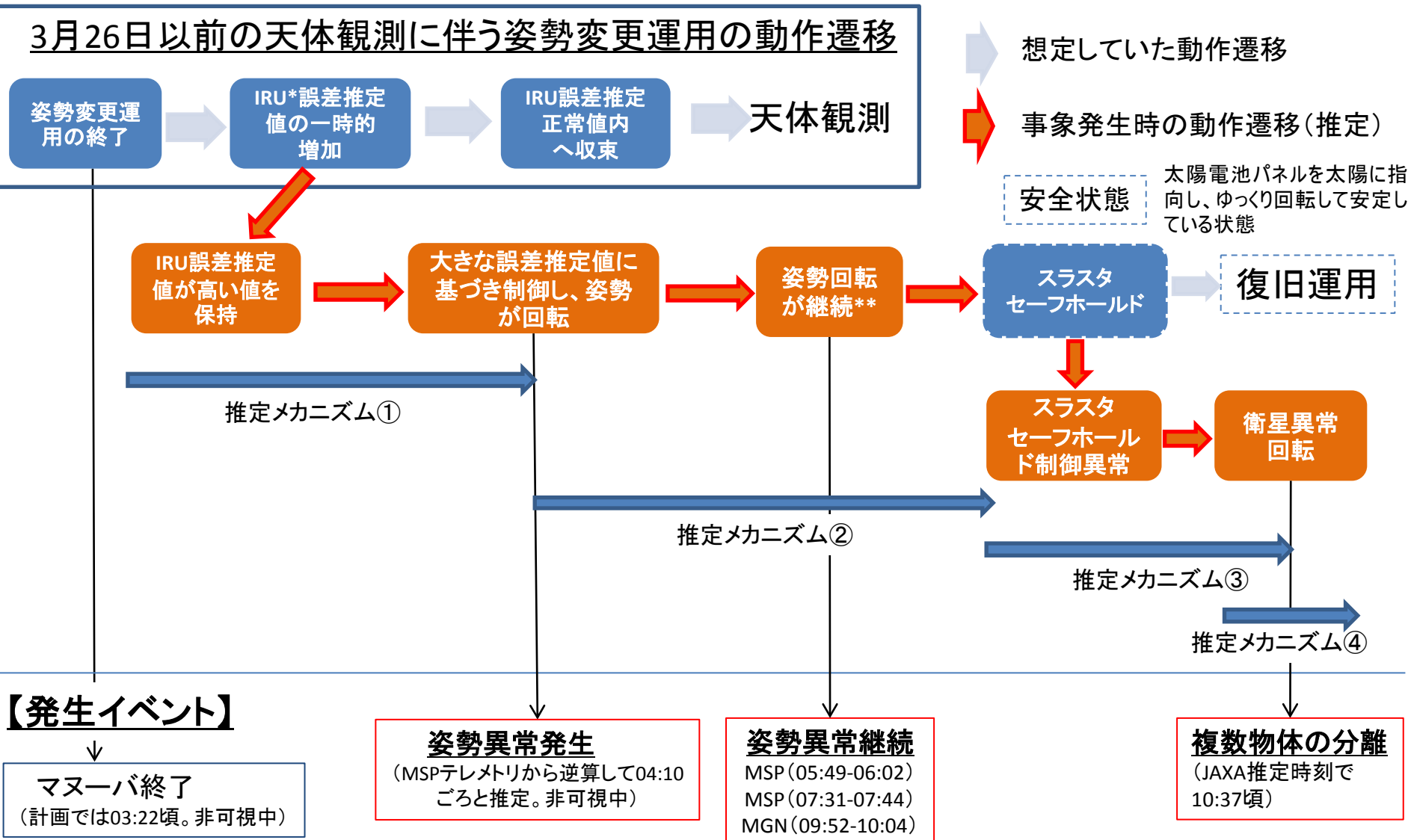
1. 推定メカニズム(サマリ)

(「衛星状態正常」から「姿勢異常」が発生し、「物体の分離」に至るまで)

- (1) 3月26日に活動銀河核観測のための姿勢変更運用を計画通り実施した。
- (2) 姿勢変更運用終了後、姿勢制御系の想定と異なる動作により、実際には衛星が回転していないにもかかわらず、姿勢制御系は衛星が回転していると自己判断した。その結果、回転を止めようとする向きにリアクションホイール(RW)を作動させ、衛星を回転させるという姿勢異常が発生した。【推定メカニズム①】
- (3) 加えて、姿勢制御系が実施する磁気トルカによる角運動量のアンローディング※が姿勢異常のため正常に働かず、RWに角運動量が蓄積し続けた。【推定メカニズム②】
- (4) 姿勢制御系はこの状況を危険と判断し、衛星を安全な状態とするためセーフホールド(SH)に移行し、スラスタを噴射したと推定される。この際、姿勢制御系は不適切なスラスタ制御パラメータにより、想定と異なる指示をスラスタに与えたと推定される。その結果、スラスタは想定と異なる噴射を行い、衛星の回転が加速する作用を与えたと推定される。【推定メカニズム③】
- (5) 衛星の想定以上の回転運動により、太陽電池パネルの一部、あるいは伸展式光学ベンチ(EOB)など、速い回転に対して構造的に弱い部位が分離したと推定される。【推定メカニズム④】

※アンローディング:磁気トルカ作動または姿勢制御用スラスタの微量噴射により、リアクションホイールの回転数を正常動作範囲内に調整する運用

2. 衛星正常状態から物体の分離に至る推定メカニズム



表示時刻は
全て日本時間3/26

* IRU: Inertial Reference Unit、慣性基準装置
 **ASTRO-Hの姿勢制御系は、姿勢異常判断に太陽センサを使用せず、姿勢制御系ソフトウェアによる推定値をもとに姿勢異常を判断している。

MSP: JAXAマスパロマス局
 MGN: JAXAミンゲニュー局

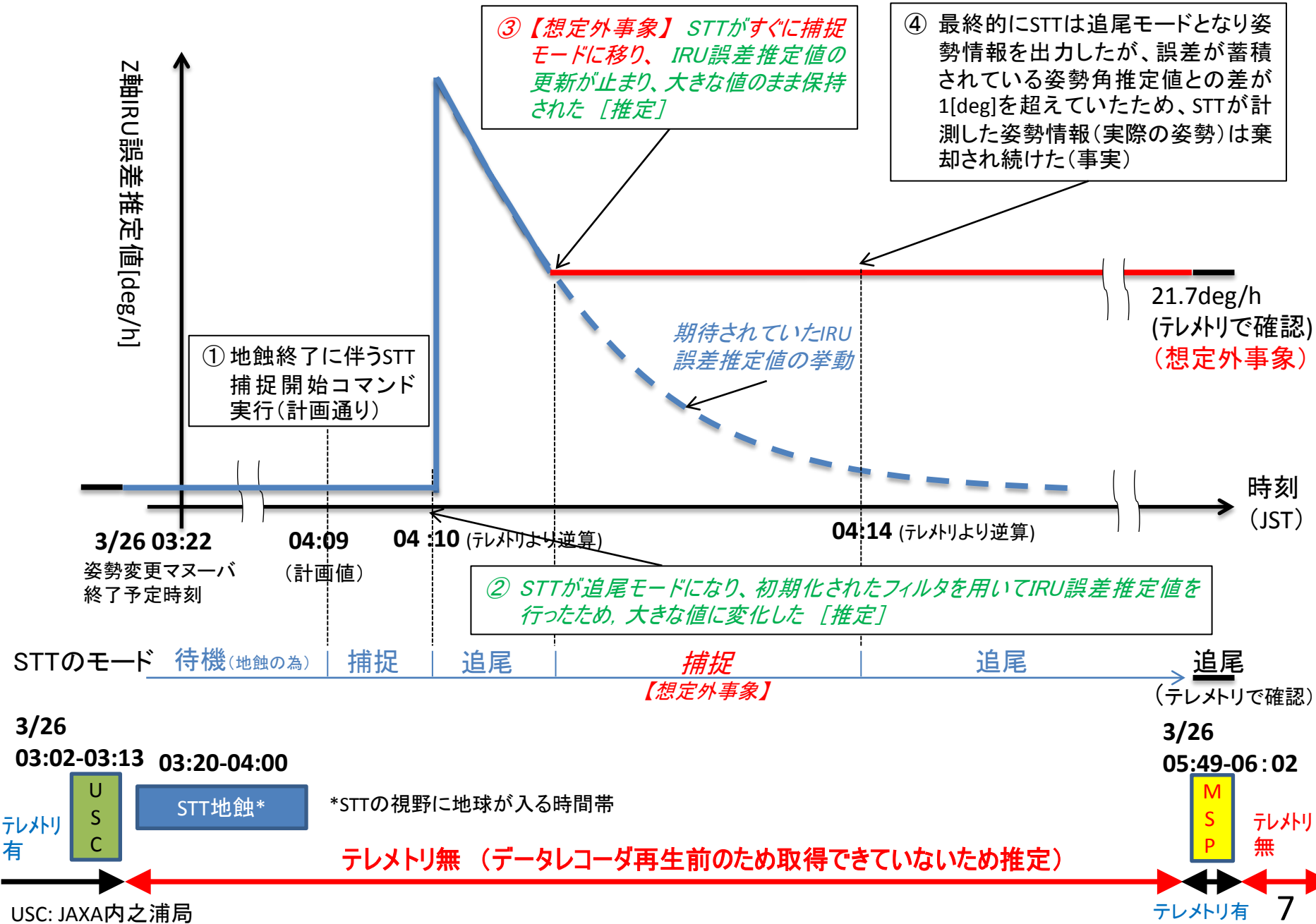
2. 衛星正常状態から物体の分離に至る推定メカニズム

推定メカニズム①: 衛星正常状態から姿勢異常発生まで

*P11補足参照

- ASTRO-Hは通常時、慣性基準装置 (IRU) とスタートラッカ (STT) の情報をもとに姿勢制御を行う。
- 姿勢変更運用終了後、STTの出力データの取り込みを開始する。その際、ASTRO-Hの設計では、IRU誤差推定値*が一時的に実際の誤差推定値よりも大きな値となり、その後、STTデータによる補正により正常値範囲内に収束する動作を行う。
- 3/26の姿勢変更運用終了後に、何らかの要因でSTTの出力データを取り込まない状態が継続した場合、IRU誤差推定値が高い値を保持し、実際のIRU誤差推定値とは異なる値を示し続けた可能性が有る。
- この場合、ASTRO-Hの姿勢制御系はSTTの出力データを取り込まず、IRUのみで姿勢決定を行う状態となるため、誤った姿勢決定値に基づき姿勢制御を行ったと推定される。
 - ASTRO-Hの姿勢制御系は、IRUによる姿勢決定値とSTTによる姿勢決定値の差が1[deg]以上となった場合、STTの出力データを取り込まずIRUのみによる姿勢制御を行う設計である。
- 今回の事象では、主としてZ軸周りのIRU誤差推定値が21.7[deg/h]を示し続けたことから、姿勢制御系はこの誤差推定値を打ち消すように衛星の姿勢をZ軸周りに21.7[deg/h]で回転するように制御し、姿勢が回転を始めたと推定される。
- MSP局、MGN局のテレメトリを分析したところ、おおよそ20[deg/h]で衛星姿勢がZ軸周りに回転していることを確認している。

2. 衛星正常状態から物体の分離に至る推定メカニズム



2. 衛星正常状態から物体の分離に至る推定メカニズム

推定メカニズム②: 姿勢異常発生から姿勢回転継続まで

- 推定メカニズム①に示したとおり、ASTRO-Hは、実際には衛星が回転していないにもかかわらず、姿勢制御系は衛星が回転していると自己判断し、回転を止めようとして衛星を回転させたと推定される。
- 一方、ASTRO-Hの姿勢制御系は、太陽センサを姿勢異常判断に使用していないため姿勢異常が検知できず、姿勢回転が継続した。
 - ASTRO-Hの姿勢制御系は、姿勢異常判断に太陽センサを使用せず、姿勢制御系ソフトウェアによる推定値をもとに姿勢異常の判断を行う設計となっている。
- この時、並行して実施している磁気トルカによるRW角運動量のアンローディング処理が、姿勢異常のため正常に働かず、RWに角運動量が蓄積されたと推定される。
- 09:52-10:04 MGN局のテレメトリを分析したところ、RWに蓄積された角運動量が制限値に近い値まで上昇していたことを確認している(テレメトリ: 112[Nms]、制限値: 120[Nms])。

2. 衛星正常状態から物体の分離に至る推定メカニズム

推定メカニズム③: 姿勢回転継続から異常回転まで

- RWに蓄積する角運動量が最終的に制限値(120[Nms])を超えると姿勢制御系はRWによる制御に何らかの異常が発生したと判断し、スラスタにより姿勢制御を行うモード(スラスタセーフホールドモード: RCS SH)に移行したと推定される。
- RCS SHでは、スラスタにより太陽を捕捉するように姿勢を立て直す動作を行うが、不適切なスラスタ制御パラメータ設定により、スラスタは指示に従い想定と異なる噴射を行ったと推定される。
- その結果、衛星の回転速度が増加したと推定される。
- スラスタ制御パラメータ設定にかかる経緯を以下に示す。
 - 2/17の打上げ直後に実施したスラスタによる太陽捕捉制御は、打上げ前に設定したスラスタ制御パラメータにより正常に行われた。
 - 2/28に、EOB等の展開物による質量特性変化を踏まえ、スラスタ制御パラメータを衛星に再設定した。
 - 本事象発生後の調査の中で、2/28の設定値が不適切であることを確認した。パラメータ作成から衛星設定までの過程において検証が不十分であった可能性があり、詳細を調査中である。
 - なお、2/28にスラスタ噴射パラメータを再設定した後は、スラスタによる制御は行われていないことを確認した。

推定メカニズム④: 異常回転から物体の分離まで

- 衛星の回転速度が増加した結果、回転力に対して弱い部位(太陽電池パネルの一部、EOB等)が分離したと推定される。

3. 推定される現在の衛星状態

- 衛星全体が速い速度で回転
- 衛星の回転力に弱い部位(太陽電池パネルの一部、EOB等)が分離
- バッテリ枯渇(充電するためには、充電機能ONが必要なため通信の確保が必要)
- 通信が確立できていない(3/28以降)
 - ※ 3/26～28にかけて3回電波は受信できているが、テレメトリが取得できていない。
調査の中で以下の事象を確認しており、衛星状態推定・復旧運用に向け詳細な調査を継続している。
 - ーキャリア周波数として200[kHz]程度ずれた電波を受信している
 - ー周波数スペクトルが地上試験データと異なっている
- 軟X線分光検出器(SXS)冷却システムの液体ヘリウムの減少(現時点では枯渇までは至っていないと推定)

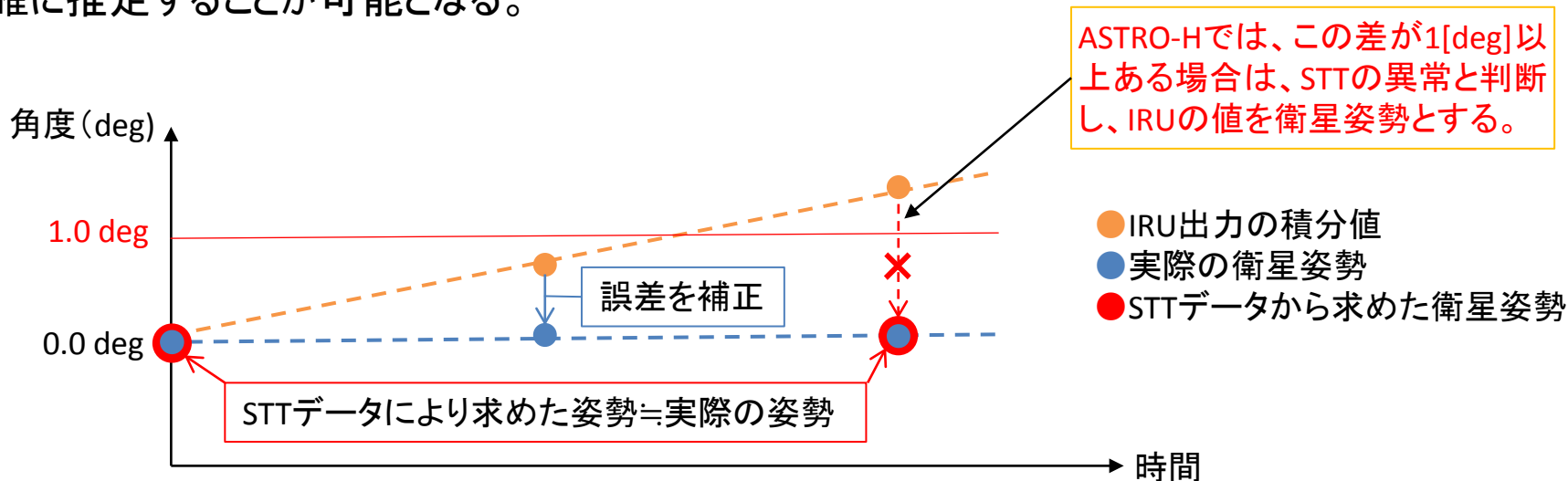
4. 当面の計画

以下の作業を並行して行っていく。

- (1)電力・通信の確立に向けた運用、回転状態・形状推定のための地上観測
- (2)メカニズム、故障の木解析(FTA)等の推定が残る部分の検証
- (3)今回の事象の要因(開発・運用のプロセス、及びその体制を含む)の分析
- (4)宇宙開発利用部会へ報告

【補足】IRU誤差推定値について

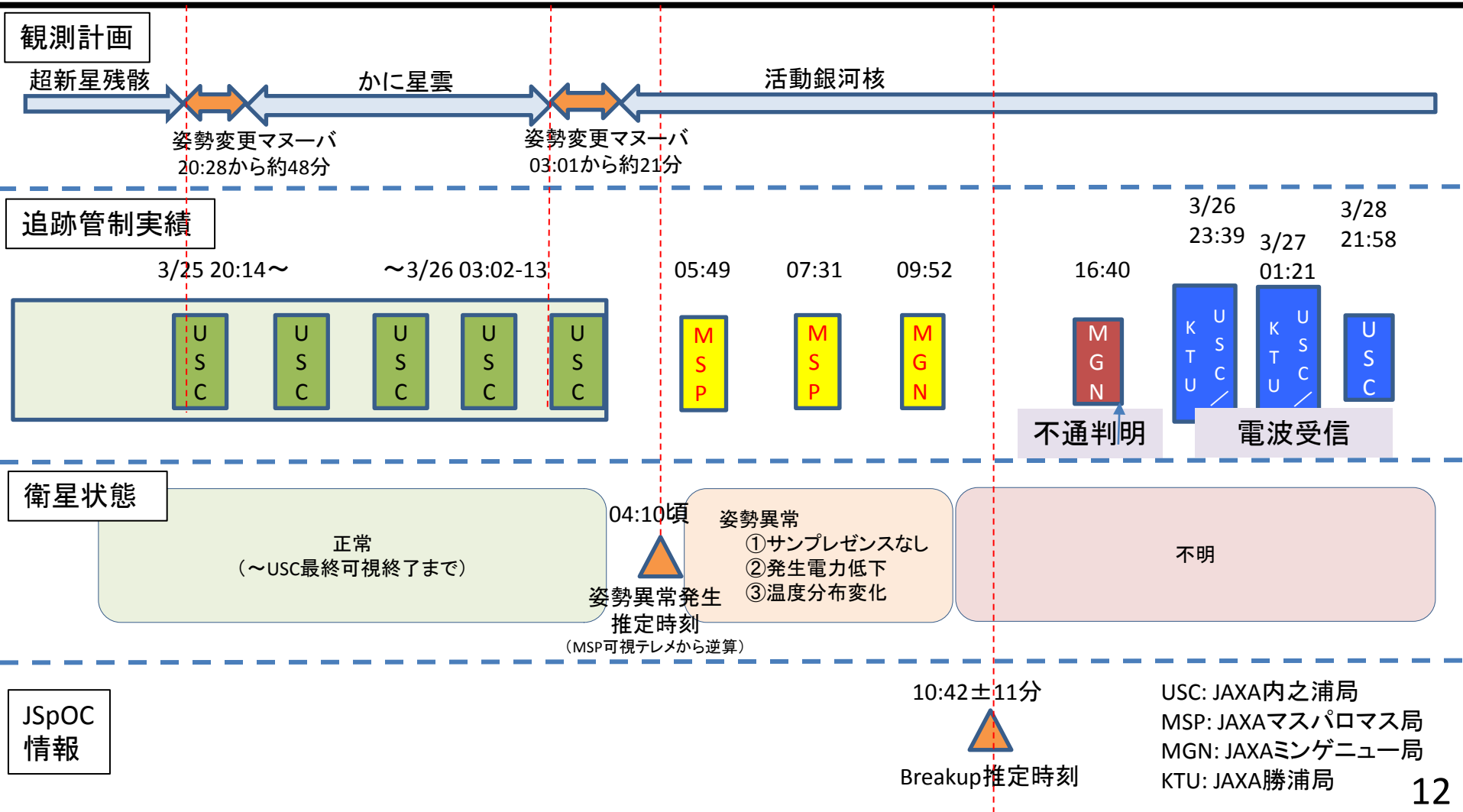
- IRUは衛星の各軸(X、Y、Z軸)の角速度(deg/sec)を計測する機器
- IRUデータにより衛星姿勢(deg)を決定する場合、時間積分により算出する
例 計測値:0.1[deg/sec] 10秒後の姿勢:0.1×10[sec]=1.0[deg]。
- 角速度計測値には僅かな誤差があり、時間積分により誤差が蓄積する。
例 計測誤差:0.01[deg/sec] 10秒後の姿勢決定誤差:0.01×10=0.1[deg]
- 精度の高いSTTによる姿勢決定値と比較することでIRUの誤差の傾向(下図オレンジの線の傾き)を算出している。
- この誤差の傾向(IRU誤差推定値)を利用することで、STTデータの無い部分でも、姿勢を正確に推定することが可能となる。



(注)あくまでわかりやすさを重視した図であり、実際の処理とは異なる

【補足】事象発生前後の衛星状態

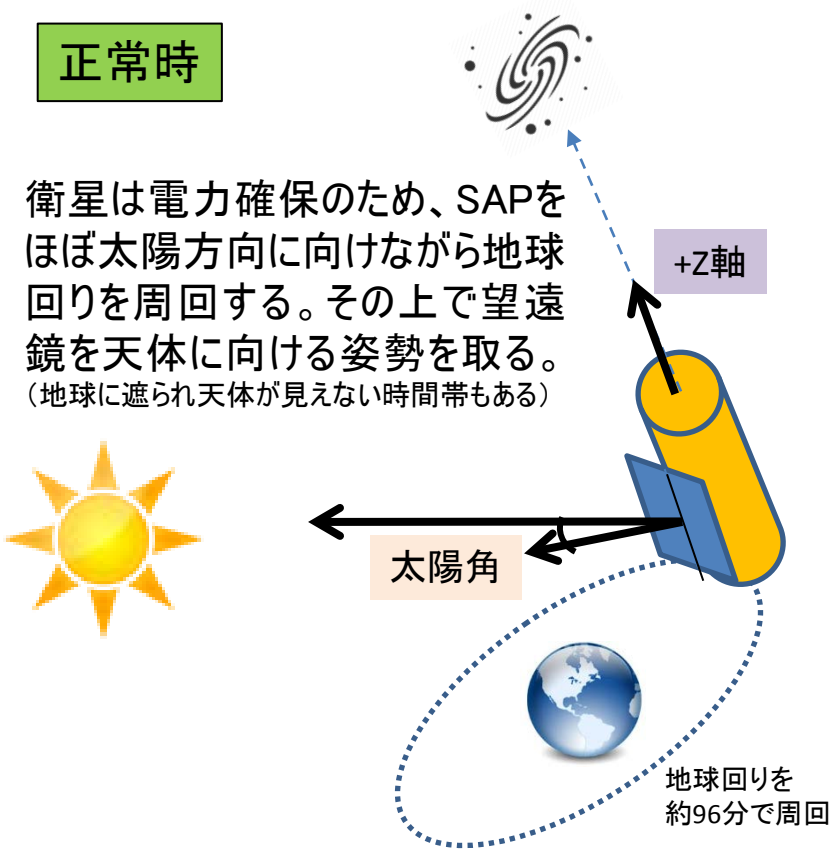
- 観測計画(天体指向姿勢と姿勢変更マヌーバ)と追跡管制の実績、その時の衛星状態とJSpOC情報の時刻関係を下図に示す。



【補足】姿勢異常時の衛星挙動イメージ

正常時

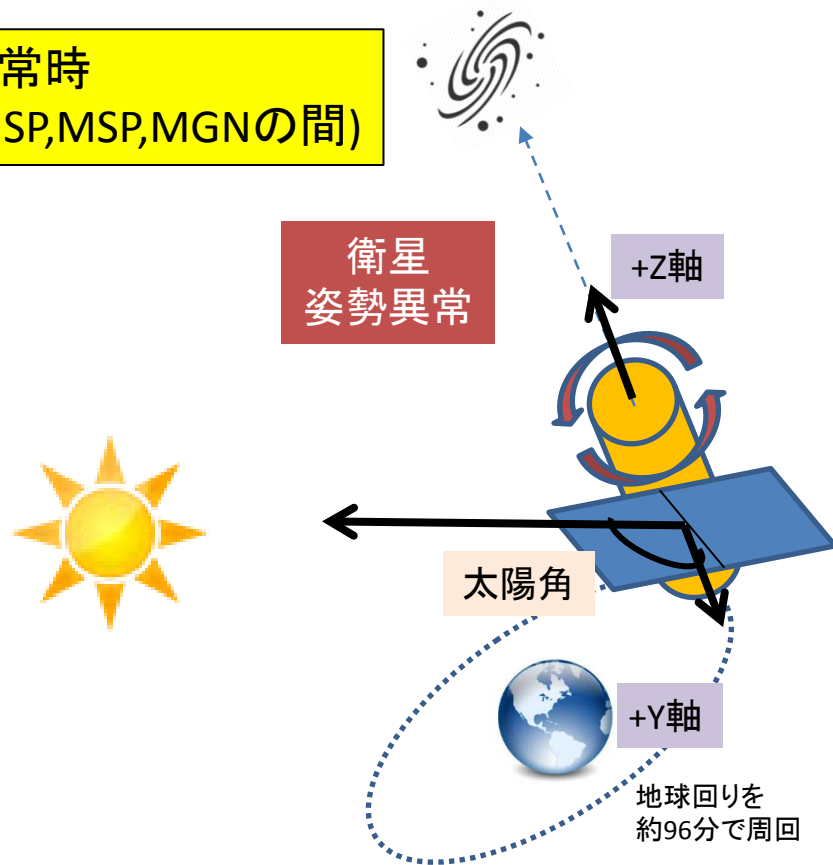
衛星は電力確保のため、SAPをほぼ太陽方向に向けながら地球回りを周回する。その上で望遠鏡を天体に向ける姿勢を取る。
(地球に遮られ天体が見えない時間帯もある)



衛星+Y軸と太陽のなす角度(太陽角)が、プラスマイナス30[deg]以内であれば正常

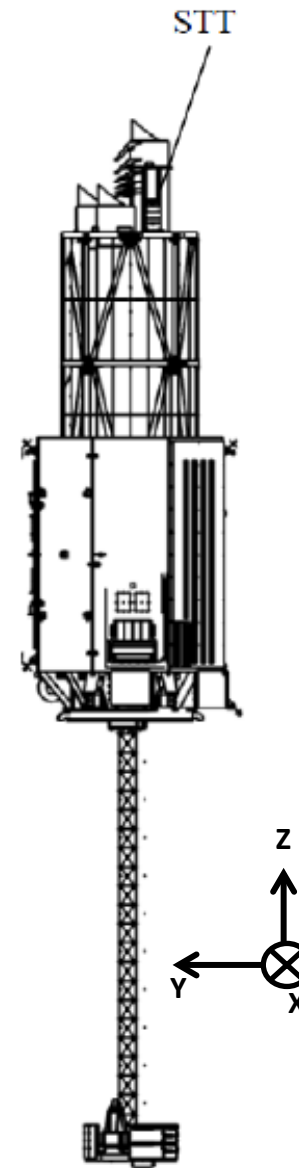
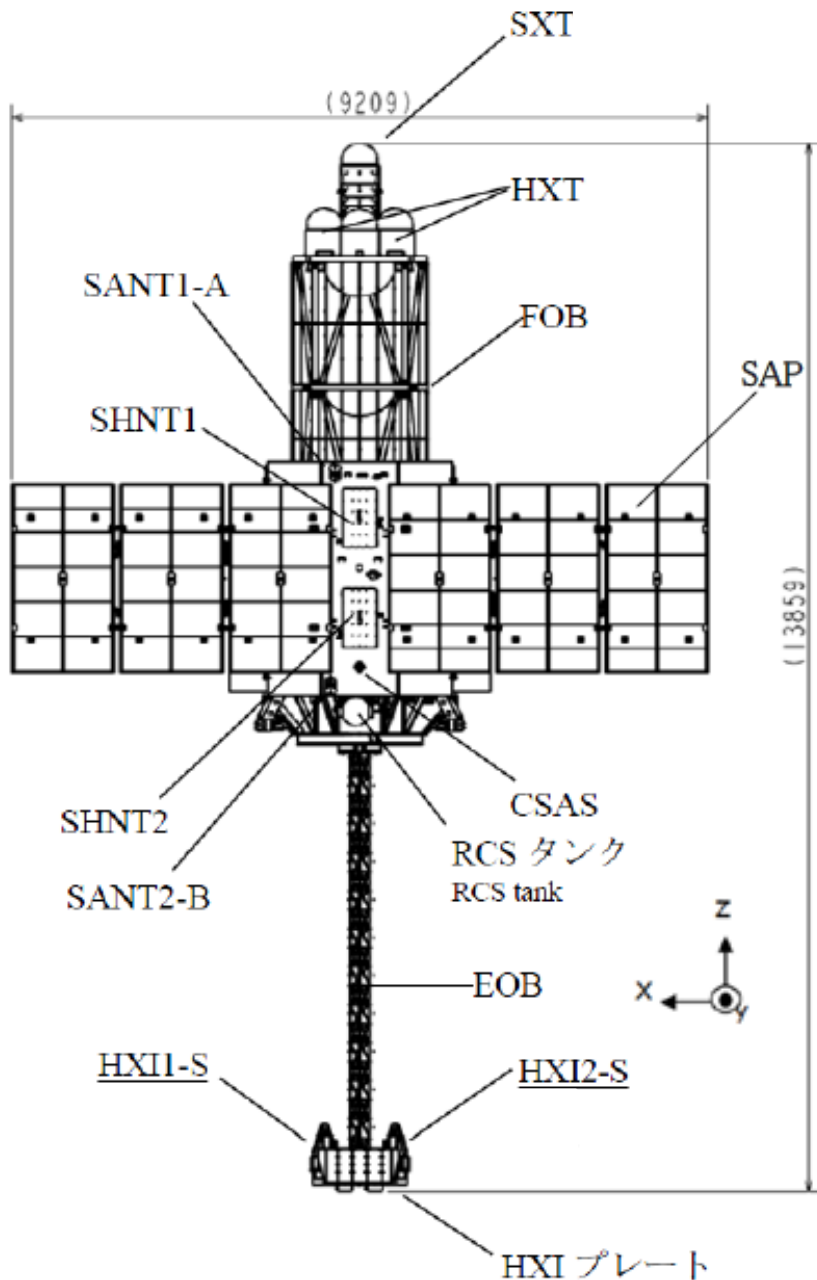
異常時
(MSP,MSP,MGNの間)

衛星
姿勢異常



IRU誤差推定値が収束しなくなった後、衛星が1時間に約21.7[deg]の割合でZ軸回りにゆっくり回転を始めたため、最後にテレメトリを確認できたMGN局での太陽角は約123[deg]であった。

【補足】衛星外観図



略語	日本語名称
SXT	軟X線望遠鏡
HXT	硬X線望遠鏡
SANT	S帯アンテナ
FOB	固定式光学ベンチ
SHNT	シャント装置
SAP	太陽電池パネル
CSAS	粗太陽センサ
RCS	推進系
EOB	伸展式光学ベンチ
HXI	硬X線撮像検出器
STT	スタートラッカ

(参考情報)

一部物体の大気圏再突入予測情報について

○再突入予測情報

国防総省戦略軍統合宇宙運用センター(JSpOC)はASTRO-Hについて、本体と識別されている物体を含めた11物体の軌道情報をホームページ上に公開している。当該ホームページに2物体(ID:41438、41443)の大気圏再突入予測が掲載されている。これらは、他の9物体と比べ、比較的早く高度を下げていることが観測されていた物体である。

－ 再突入予測

- 41443: 2016年4月29日
- 41438: 2016年5月10日

○再突入物体について

JAXAでは、これらの物体は大気圏中で燃え尽きると推定している。