

P2-46 ASTRO-G 精密軌道決定系の成立性評価

○吉原圭介, 朝木義晴, 竹内央 (ISAS/JAXA), 大坪 俊通 (一橋大), ASTRO-G技術実証チーム

背景

ASTRO-Gにおいては位相補償観測などの観測運用において、センチメートルレベルの精密軌道決定(Precise Orbit Determination: POD)が求められる。最も厳しい衛星位置決定精度要求は 5cm@遠地点(誤差楕円体短軸、1 σ)であり、この精度が要求される観測は必須の科学目標("science requirement")下では1.5年間で17観測程度である。ASTRO-GではGPS受信機とSLRの組み合わせによりこれらの要求を満たす精密軌道決定を実現する。

ASTRO-GのPODの特徴的かつ挑戦的な点は、その運用軌道と大型展開アンテナ等の展開構造を有する複雑な衛星形状である。近年、地球周回衛星においては、GPSベースのPODにおいてセンチメートルレベルの精度が実現されているが、ASTRO-Gの運用軌道は1000km x 25000kmの長楕円軌道であり、GPS信号(メインローブ)が受信可能な領域は近地点近傍の低高度域に限定される。さらには、その衛星形状により、太陽輻射圧(DSRP)や地球輻射圧(ERP)等の非重力摂動力の影響が大きく、かつモデル化が困難である。以上の認識に立ち、ASTRO-Gの軌道決定系は以下の方針で基本設計を進めている。

1. 中高度～高高度におけるGPS信号の不足を補うため、SLR (Satellite Laser Ranging)用 reflector を搭載し、GPS + SLRの組み合わせにより精密軌道決定を行う。
2. 高い軌道決定精度の要求が必要な観測運用に対しては、ETS-8と同様のスキームで集中的なSLR観測協力が期待できるSLR観測キャンペーンを計画的に実施し、各国のSLR局の支援を仰ぐ。中程度の精度要求に対しては、日本のSLR局を中心とした観測により必要な軌道決定精度を実現する。
3. 受信可能なGPS信号を増やすため、ビームパターンや位相特性が公開されていない送信ビームメインローブ端～サイドローブの利用について検討する。また、GPS近代化に伴い整備が進むGPS L2C信号や他のGNSS(GLONASS, Galileo)信号の受信機能を備える受信機の採用を検討する。
4. ASTRO-Gの軌道決定精度に大きく影響する各種モデル(非重力摂動力モデル、送信/受信アンテナの位相特性、衛星質量中心やSLR位相中心位置モデルなど)は、軌道上で較正を実施することを前提とし、その具体的な手法や地上で押さえるべきモデルの推定精度についての検討を行う。

ASTRO-Gの軌道決定精度要求(抜粋)

要求元	位置精度要求 <必須要求: "science requirement"のみ>	左記を実現するための 軌道決定手法
(22GHz位相補償観測等、最も 厳しい位置決定精度を要求 する観測)	位置精度: 5 cm(1 σ) @遠地点 ・誤差楕円体短軸方向 ・3週間後決定値 頻度: 17観測/1.5年	GPS + SLR(集中観測 キャンペーン)
8GHz位相補償観測、22GHz系外 メーザ観測等、要求が中程度 の観測	位置精度: 30cm(1 σ) @観測軌道内 ・3週間後決定値 頻度: 11観測/1.5年	GPS + SLR(定常観測 &少数局個別調整)
全ての観測に必要な要求(相 関処理からの要求)	位置精度: ± 22 m(1 σ) @ 観測軌道内 ・1週間後決定値 精度: ± 180 m(1 σ) @ 観測軌道内 ・1日後決定値	GPSのみ(SLRなし)

成立性検証の内容とその結果

本成立性検証においては、

①実際にASTRO-Gへの搭載が想定されるGPS受信機の性能(実力)に基づくGNSS信号(GPS, GLONASS)受信性能の評価

②従前の検討と独立な手法による軌道決定精度の評価

を実施し、ASTRO-G軌道決定系WGの従前の検討による軌道決定精度予測と合わせ、要求される観測要求(必須要求)に対して達成の目処を得た。

- ①搭載が想定されるGPS(GNSS)受信機モデルを取り込んだ信号受信解析
- ・GPS/L2C信号に加え、近年整備が進むGPS L2CやGLONASSについても評価
 - ・検討を通して、POD要求を満たすために必要なGPS(GNSS)受信機の機能性能(受信信号、チャンネル数、衛星選択アルゴリズム、感度、測距精度、受信アンテナ指向性等)を確認

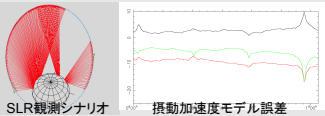
- ②従前の検討と独立な手法による軌道決定精度の評価
- ・GPSのみ、GPS+GLONASS、および、GPS+SLRを組み合わせたシナリオでの解析を実施
 - ・reduced-dynamic orbit model + batch estimator (LSQ) による軌道決定(従前の検討では、LEOでのGPSベースのPOD精度実績に基づく誤差共分散解析による精度評価、ETS-8等のSLRによる軌道決定精度実績による評価を実施)
 - ・非重力摂動加速度的モデル化誤差等による誤差要因に対し、感度解析を実施

- ❖ GPS+SLR集中キャンペーンにより、22GHz位相補償観測等が要求する<5cm(1 σ , 誤差楕円体短軸)を達成可能な目処を得た
- ✓ 独立な手法による解析により、従前の軌道決定精度予測が妥当であることを検証。
- ✓ 必要となる受信機の性能要求を抽出し、要求を満たす受信機の技術的成立性を確認。
- ✓ 最も不定性が大きい誤差要因である非重力摂動加速度的モデル化誤差や、ASTRO-Gにおいて利用すべきGPS信号送信ビーム幅について、要求を満たすために必要な条件を確認。

- ❖ すべての観測に必要な相関処理の要求は、GPS受信機のみで十分に達成可能であることを確認した。
- ✓ GPS受信機の機能性能の最適化により、30～80cm程度の精度が実現可能なことを確認。

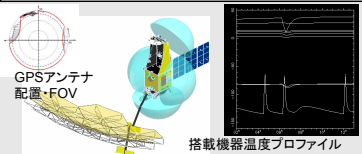
評価シナリオ(JAXA)

- ・ASTRO-G軌道
- ・ASTRO-G姿勢(姿勢マヌーバ有、無し)
- ・GNSS(GPS/GLONASS)衛星配置
- ・信号受信制約(高度・送信ビーム幅マスク)
- ・SLR観測シナリオ(SLR無し、1局/rev.、3-4局/rev.)
- ・摂動加速度モデル誤差(複数水準)、等



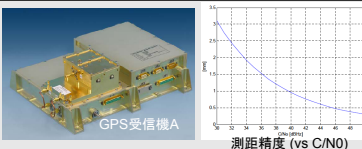
ASTRO-Gモデル(JAXA)

- ・GPS受信アンテナ配置、FOV
- ・RFケーブル長(→挿入損失)
- ・姿勢プロファイル
- ・搭載機器温度(熱解析ファースト)、等

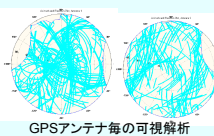


GPS受信機モデル(受信機メーカ)

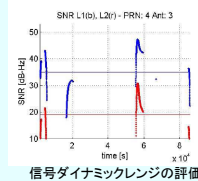
- ・GPSアンテナ利得パターン・位相中心変動
- ・GPS LNA性能
- ・GPS受信機能(受信信号種別等)
- ・GPS受信機能(感度、測距精度等)
- ・受信機クロックエラー(JAXA提供)、等



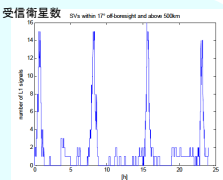
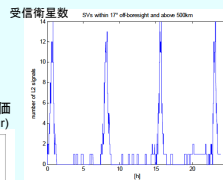
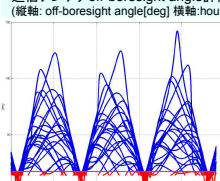
GNSS信号受信解析



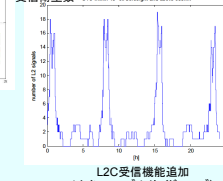
GPSアンテナ毎の可視解析



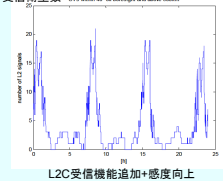
送信アンテナoff-boresight angle評価



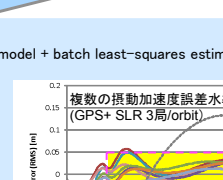
GPS受信機Aの標準仕様



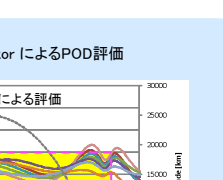
L2C受信機能追加+感度向上



L2C受信機能追加

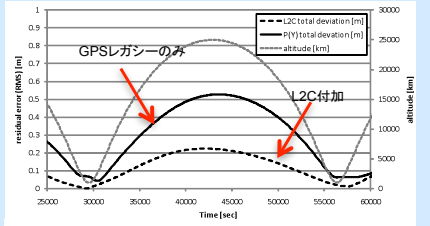


L2C受信機能追加+感度向上

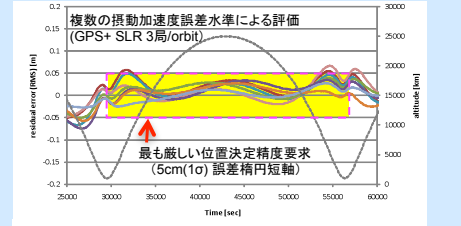


精密軌道決定精度評価

reduced-dynamic orbit model + batch least-squares estimator によるPOD評価



- ・GPS/L2C信号に加えて、L2C信号受信機能を付加することで、受信衛星数および測距精度が改善し、軌道決定精度が大きく向上
- ・GPSのみで相関処理の要求(<22m(1 σ))は十分に達成可能。数10cm程度の精度が必要な観測についてもカバー可能。



- ・最も厳しい要求に対しては、非重力摂動加速度について、太陽輻射圧最大値の5%程度モデル化が必要。軌道上のモデルの較正は必須。
- ・メインローブ端部～サイドローブの信号を使用しないことの安全サイドの前提とした場合、信号受信が低高度域に限られ受信信号数が少ないことから、測距毎のランダム誤差の軌道決定精度に対する感度が高い。(→受信機仕様要求)