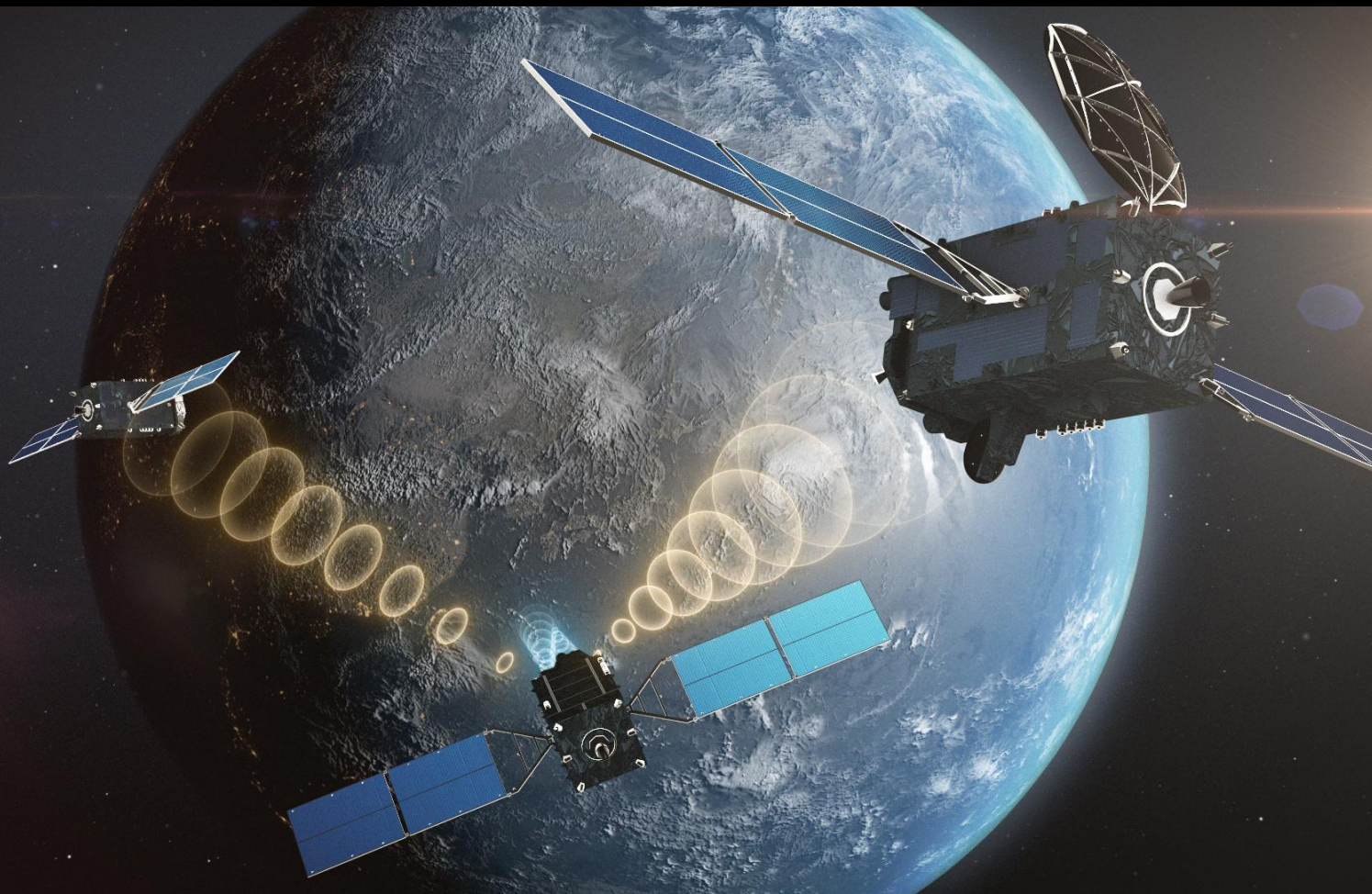


高精度測位システム(ASNAV) プレスキット

Advanced Satellite Navigation System Press Kit



Advanced Satellite Navigation System
for 7-satellite Constellation “MICHIBIKI”

スマートフォンでの測位精度1mを実現する技術

それが「^アス^ナブ ASNAV」

皆さんのスマートフォンの位置情報アプリの位置情報は、内閣府が構築する準天頂衛星システム「みちびき」から配信される信号をスマートフォンが受信し計算されています。しかし、まだアプリ上で自分がいる場所のポイントが動いていたり、安定して示されないことが多いのではないのでしょうか？

JAXA が開発する高精度測位システム(ASNAV: Advanced Satellite Navigation System)は、みちびきの衛星測位サービスによる測位精度をさらに高精度化させるシステムです。この ASNAV の機能で、多くの方が所有しているスマートフォンのような一般的な受信機においても、ユーザ測位精度が 1mまで向上することが期待されます。

JAXA は皆さんの生活がより豊かになり、これまでには想像することもできなかった新しい試みが生まれることに貢献します。

Contents

- 1 今いる場所を知る技術「測位」とは？
 - 衛星測位の原理
 - 準天頂衛星システム「みちびき」とは？
- 2 スマートフォンでの測位 1m を実現する ASNAV
 - 準天頂衛星システム「みちびき」の基本
 - 測位衛星の位置と時刻を正確に知るには？
 - みちびきの課題を解決する高精度測位システム(ASNAV)
- 3 ASNAV のコア技術「ISR」と「PRECT」とは？
 - 衛星/地上間測距システム (PRECT: Precise Ranging with Exact Comparison of Time)
 - 衛星間測距システム(ISR: Inter-Satellite Ranging)
 - 次世代高精度軌道時刻推定システム(PROCEED)
- 4 打上げから高精度測位システム実証運用まで

Appendix

1. 今いる場所を知る技術「測位」とは？

「測位」とは、「今自分がどこにいるのかを知る」ことです。その中でも地球を周回する人工衛星からの情報をもとにした測位を「衛星測位」と呼びます。

「衛星測位」という言葉は聞き慣れないかもしれませんが、カーナビやスマートフォンの地図アプリで使われるだけでなく、精密な時刻同期を必要とする電力の送配電網管理や金融システムにも利用されています。衛星測位はすでに非常に広い利用領域を持ち、水や電気のように私たちの生活に密着したインフラとして不可欠な存在になっています。

衛星測位の原理

衛星測位は『4 機』以上の測位衛星の信号を用いて実現します。

- ① 測位衛星から、その衛星の「位置」と「時刻」の情報を含んだ測位信号を送信します。
- ② 測位信号が受信機に到達するまでの時間から、衛星と受信機間の距離を計算します。
- ③ ①,②により、各衛星を中心とした球面が描け、その球面の交点を計算することにより受信機(ユーザ)の位置が計算できます。
- ④ ユーザの位置(x,y,z)を知るには、3 つの方程式(3 つの球面の交点を計算する)でよいのですが、受信機は時刻誤差(Δt)を持つため、これを加えた 4 つの未知数を計算する必要があるため、少なくとも 4 つの衛星からの測位信号が必要になります。
- ⑤ 4 つ以上の測位衛星からの信号を用いて測位演算することにより、ユーザは「位置(緯度・経度・高度)」と「時刻」を正確に知ることができます。

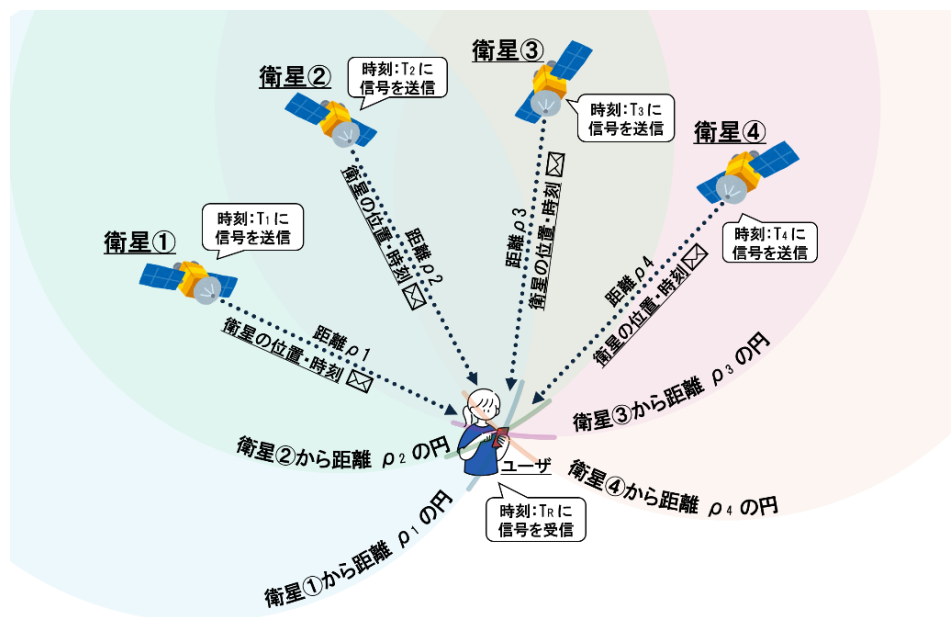


図 1 ユーザ測位の原理

準天頂衛星システム「みちびき」とは？

世界各国・地域で独自の「衛星測位システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）」が運用されています（図 2）。



図 2 世界各国・地域の衛星測位システム

そのうち日本の衛星測位システムは準天頂衛星システム（QZSS：Quasi-Zenith Satellite System）「みちびき」と呼んでいます。

「みちびき」の歴史

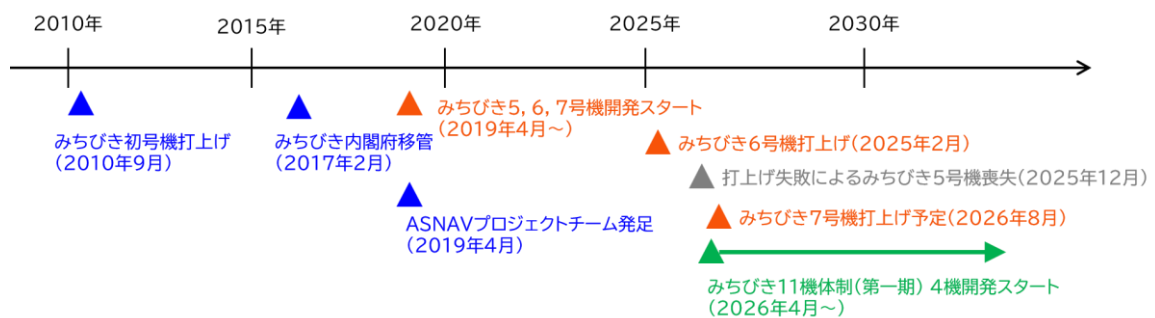


図 3 みちびきの歴史

JAXA は「みちびき」の初号機を開発し、2010 年 9 月に打ち上げた後、2017 年 2 月に「みちびき」を内閣府に移管しました。現在、「みちびき」の整備/運用は内閣府が主導して実施しています。2026 年度中には 7 機体制でのサービスが開始される予定でしたが、2025 年 12 月の H3 ロケット 8 号機の打上げ失敗により、みちびき 5 号機を喪失しました。そのため、みちびき 7 号機の打上げ後、当面は 6 機運用でのサービス開始を目指しています。

「みちびき」の軌道

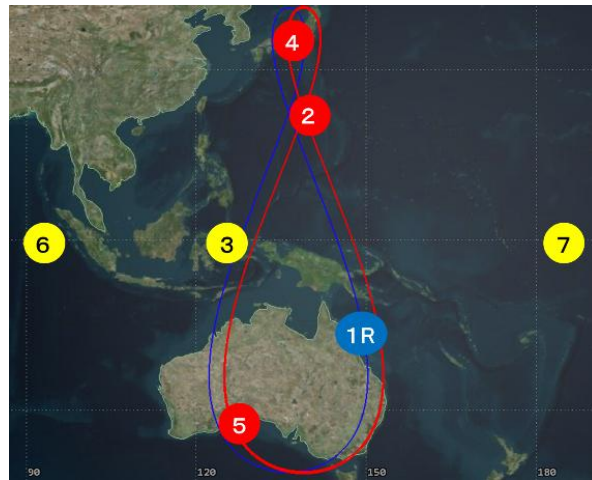


図 4 みちびき 7 機体制の軌道配置

「みちびき」7 機体制は、4 機の準天頂衛星と 2 機の静止衛星、1 機の準静止衛星から構成されます。7 機体制により常に日本上空に4機以上の「みちびき」が滞在することになるため、「みちびき」のみで測位が可能となります。

衛星が地球の自転と同じ速さで回ると、地上からは常に同じ場所にいるように見えます。このような軌道を「静止軌道」と呼びます。しかし、日本は赤道から離れているため、静止衛星は日本の真上には来ません。そこで、軌道を傾けて北半球側が大きくなるよう楕円形にし、日本の上空に長く滞在できるよう設計した軌道が「準天頂軌道」です(図 5)。準天頂衛星システムの特徴でもあるこの軌道は、地上に投影される軌跡が 8 の字を描くように動き、この軌道により日本のユーザが測位可能な時間を増やすとともに、建物などによる反射波の影響の少ない高品質な信号を届けることができます。

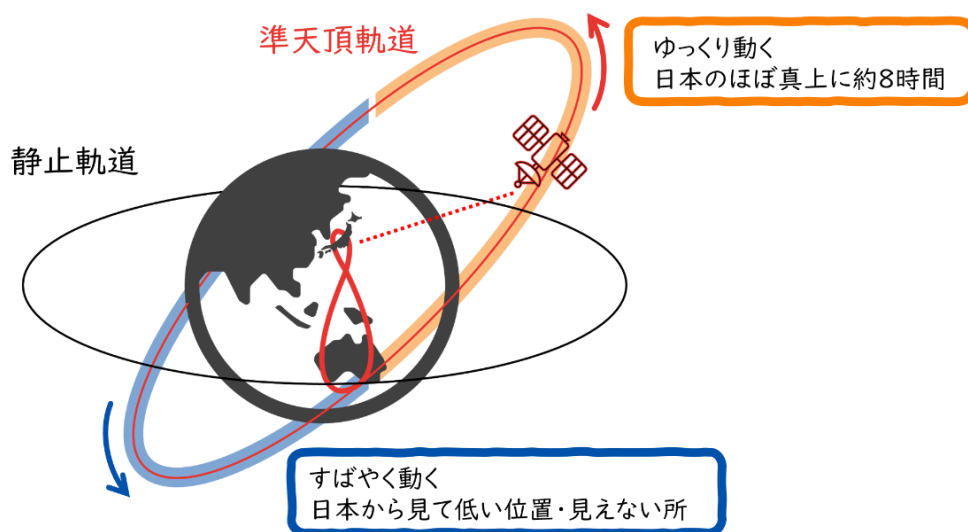


図 5 準天頂軌道の概念図

2. スマートフォンでの測位 1m を実現する ASNAV

準天頂衛星システム「みちびき」の基本

「みちびき」から配信される測位信号

「みちびき」は各種測位サービスをユーザの皆さんに提供しています。準天頂衛星各号機と提供サービスの関係を表 1 に示します。

「衛星測位サービス」は米国 GPS と互換性のある測位信号を送信することにより、GPS と一体となって使用し、安定した測位をすることができるサービスであり、カーナビやスマートフォンではこれらの測位信号を受信しています。ASNAV はこの衛星測位サービスの精度向上を対象としています。

「みちびき」には衛星測位サービス以外にも測位精度を高める情報を送る補強サービスなどがあり、これらの補強信号(L1S、L1Sb、L5S、L6)を受けるには専用の対応受信機が必要となります。

表 1 みちびきから送信される測位信号と提供サービス一覧

信号名称	準天頂軌道				静止軌道		準静止軌道	配信サービス
	初号機 後継機	2 号機	4 号機	5 号機	3 号機	6 号機	7 号機	
L1C/A	—	○	○	—	○	—	—	衛星測位サービス
L1C/B	○	—	—	○	—	○	○	
L1C	○	○	○	○	○	○	○	
L1S	○	○	○	—	○	—	—	サブメータ級測位補強サービス
								災害・危機管理通報サービス
L1Sb	—	—	—	—	○	○	○	SBAS 配信サービス
L2C	○	○	○	—	○	—	—	衛星測位サービス
L5	○	○	○	○	○	○	○	
L5S	○	○	○	—	○	○	○	測位技術実証サービス
L6D	○	○	○	○	○	—	—	センチメータ級測位補強サービス
	—	—	—	—	—	○	○	高精度測位補強サービス
L6E	○	○	○	○	○	○	○	高精度測位補強サービス

(参考: 送信信号一覧 https://qzss.go.jp/overview/services/sv03_signals.html (一部改変))

「みちびき」の構成

従来のみちびき4機体制は、衛星（初号機後継機～4号機）、主管制局、追跡管制局、監視局の四つから構成されます。（図6）

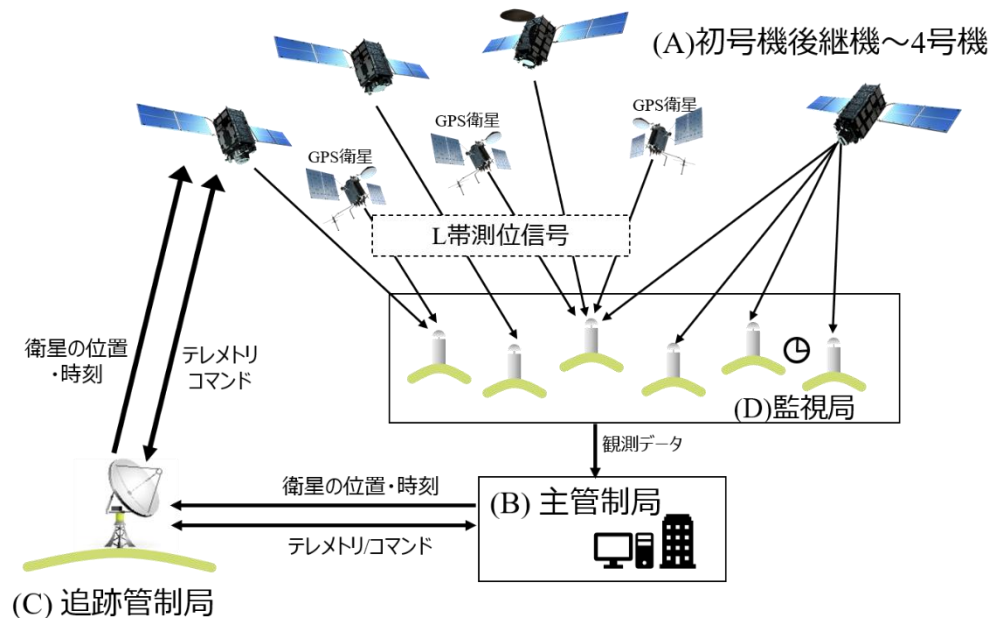


図6 準天頂衛星システム「みちびき」4機体制の基本構成

- A) 衛星：地上から送られた測位衛星の位置等の情報をもとにユーザ向けの測位信号を生成し、地上に送信します。
- B) 主管制局：世界中に配置された「監視局」で取得したデータから測位衛星の位置や時刻を計算します。また、衛星の管制、地上システム全体の状態監視をおこないます。
- C) 追跡管制局：衛星と直接通信するためのアンテナを経由して、「主管制局」で生成した衛星測位サービスに必要な情報を送信するとともに、「みちびき」からの情報を受信します。
- D) 監視局：「みちびき」やGPSなどの測位信号を受信し、その受信データを衛星と監視局間の距離に変換し、「主管制局」に送ります。

測位衛星の位置と時刻を精確に知るには？

「ユーザ測位」は複数の測位衛星の位置と時刻を基準とすることから、測位衛星の「位置と時刻」を精確に知ることがユーザ測位精度に直結します。測位衛星の「位置と時刻」の算出はユーザ測位の原理と同じです(図 7)。ある測位衛星から送信された測位信号を国内外に設置された 4 局以上の「監視局」で受信し、その情報を元に各監視局から測位衛星までの距離を測り、監視局を中心に描かれた複数の球面の交点を算出します。

この計算は「主管制局」で行われ、そこで求めた測位衛星の「位置と時刻」の情報を「追跡管制局」経由で衛星に送信し、衛星からユーザに向けて配信することで、ユーザは自分がいる位置を知ることができます。

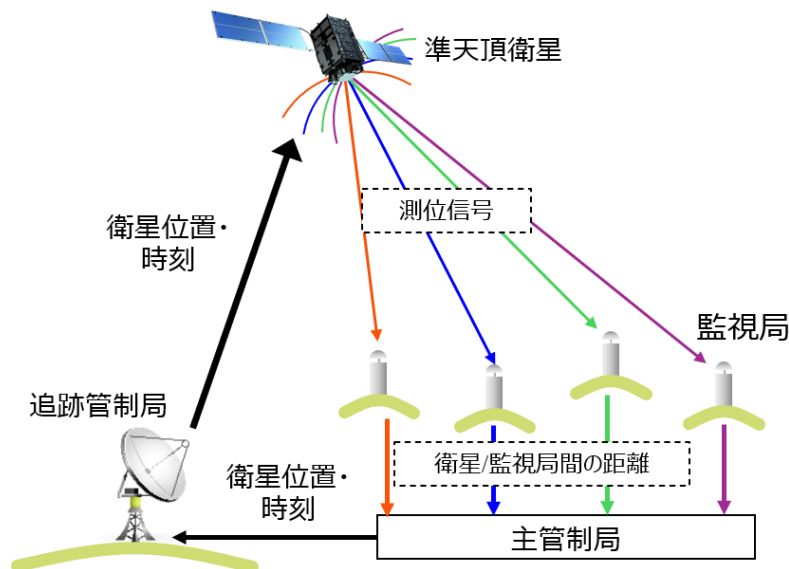


図 7 測位衛星の位置と時刻の導出原理

正確にユーザ測位を行うためには、測位衛星の「位置・時刻」を正しく推定する必要がありますが、従来方式では以下のような課題がありました。

- (1) 準天頂衛星システム「みちびき」を構成する各衛星が地球から非常に遠い(準天頂軌道は高いところで地球から約 4 万 km、静止軌道は約 3.6 万 km)ので、衛星から見える地球の大きさ(角度)は小さく(20°未満)、その地球上に置かれた複数の監視局から衛星を見ても視差が小さいことから誤差が重なってしまい、軌道面内方向の誤差が出やすくなってしまふ。
- (2) 衛星と監視局間の距離は「光速(測位信号の進む速さ)」×「衛星から監視局までに測位信号が到達する時間」で測るため、衛星と地上に時刻誤差があると、衛星/地上間方向に誤差が出てしまふ。

みちびきの課題を解決する高精度測位システム(ASNAV)

JAXA は『高精度測位システム(ASNAV:Advanced Satellite Navigation System)』を開発しました。「みちびき」5,6,7 号機には、高精度測距システムペイロード(PRP)と呼ばれる新しいサブシステムを搭載しており、ISR 機能および PRECT 機能を有します。また、地上システムは新しい搭載機器と対向する機能や新規搭載機能を管制する機能、また、新しい観測量を処理し測位精度を高精度化させる軌道時刻推定システムなどの新機能を有します。これらを総称し「高精度測位システム(ASNAV)」と呼んでおり、このシステムにより、現状の 5~10m 程度のユーザ測位精度を 1m にまで向上させることを目標としています。(図 8)

- ① 衛星間測距システム(ISR:Inter Satellite Ranging)
 - ② 衛星/地上間測距システム(PRECT: Precise Ranging with Exact Comparison of Time)
 - ・ 衛星/地上間測距システム搭載系(PRECT-S)
 - ・ 高精度測距システム地上系(PRECT-G)
 - (PRECT 対応追跡管制局(PRECT-C)／電離層観測局(PRECT-L))
 - ③ 地上検証システム
 - ・ 次世代高精度軌道時刻推定システム(PROCEED)
 - ・ ミッション管制サブシステム
 - ・ システム共用部
 - ・ 検証用監視局

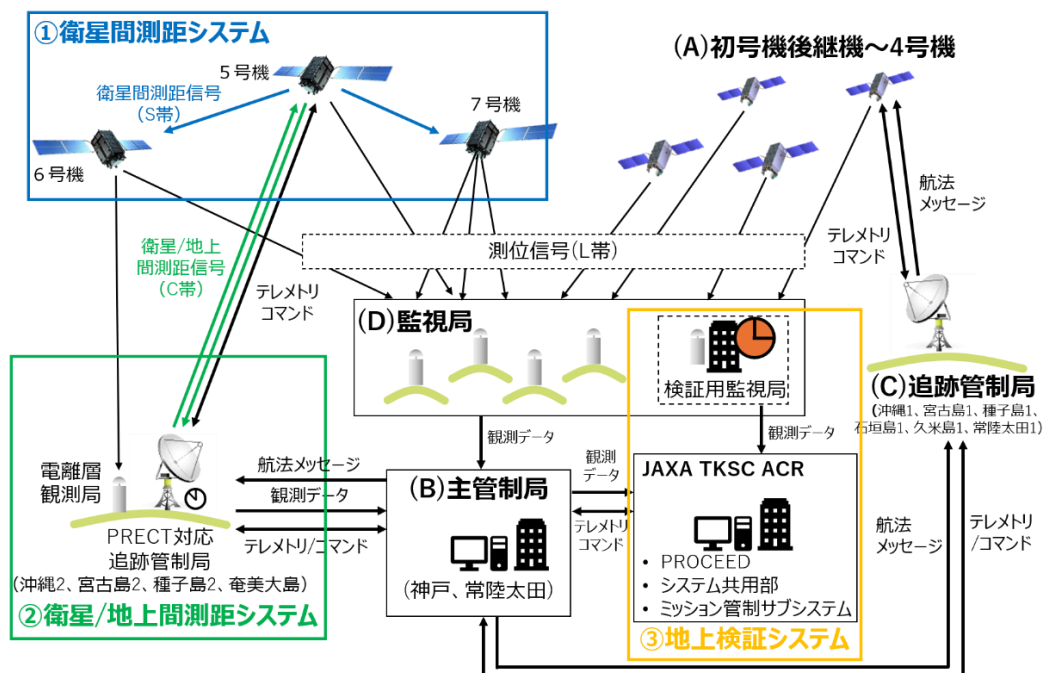


図 8 みちびき 7 機体制における ASNAV の構成

3. ASNAV のコア技術「PRECT」と「ISR」とは？

測位システムの性能は衛星の位置・時計に起因する誤差である SIS-URE (Signal In Space-User Range Error) という指標で評価されます。各国の測位システムが性能改善に取り組んでおり、GPS や Galileo など徐々に SIS-URE が小さくなっています。ASNAV もこの SIS-URE を低減させるために「衛星/地上間測距システム(PRECT)」及び「衛星間測距システム(ISR)」二つの機能を有しています。

衛星/地上間測距システム(PRECT: Precise Ranging with Exact Comparison of Time)

衛星から地上の監視局への一方向の従来方式の測距では、衛星と地上局の時計間の誤差により生じる測距誤差が、衛星と地上間の測距精度に影響を与えていました(図 8 左)。PRECT では、衛星と地上間を双方向に測距することにより、衛星と地上システムが有する時計の時刻ずれに起因する誤差成分をキャンセルできるため、衛星と地上間の測距精度を改善することが可能とする世界初の機能です(図 9 右)。

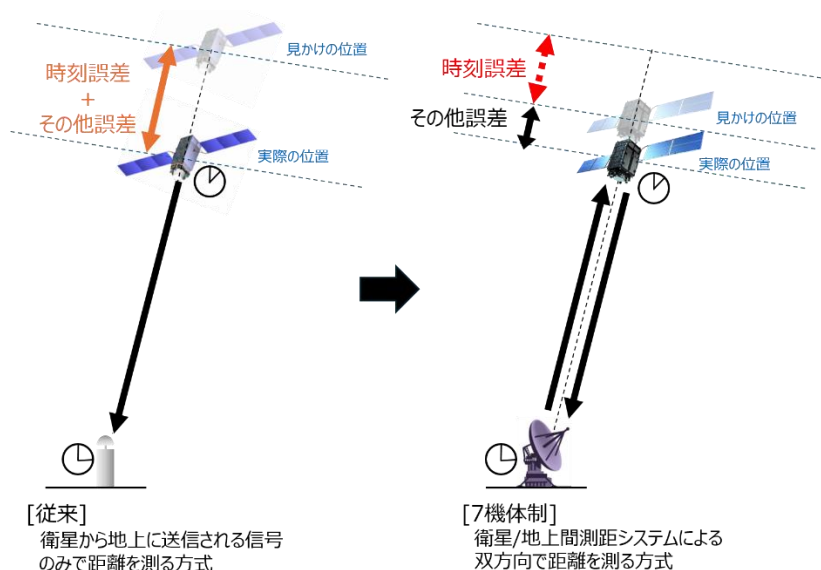


図 9 衛星/地上間測距システム(PRECT)の効果

また、PRECT は衛星側に搭載される PRECT-S と地上局側の PRECT-G から構成されます。PRECT-G は PRECT 機能を実装した追跡管制局であり、24 時間 365 日各衛星を追尾するために、赤道に近い日本の南方に 4 局(種子島、沖縄、宮古島、奄美大島)配置しています(図 10)。

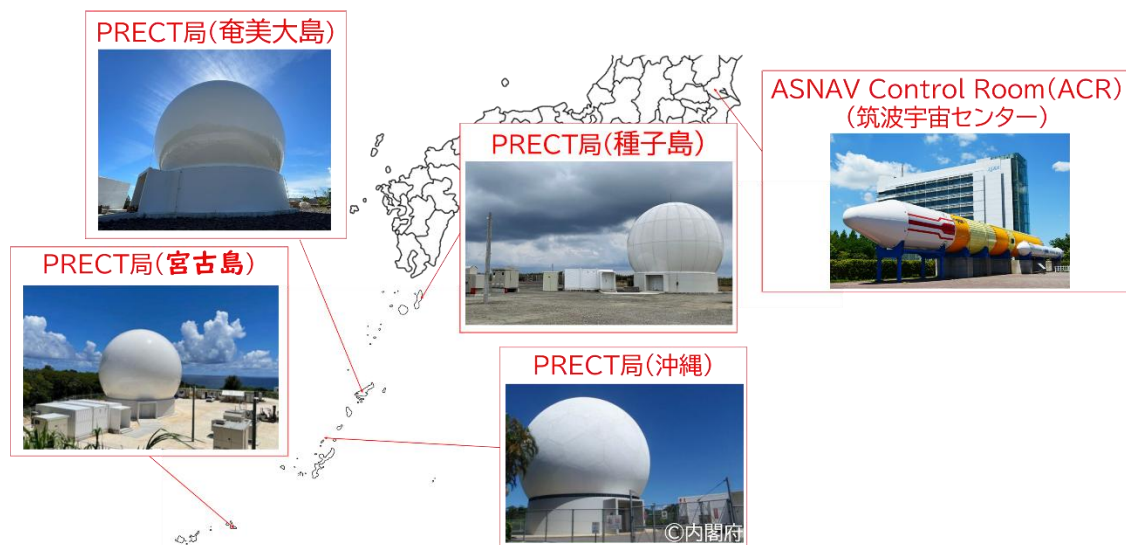


図 10 PRECT 局と ACR の配置図

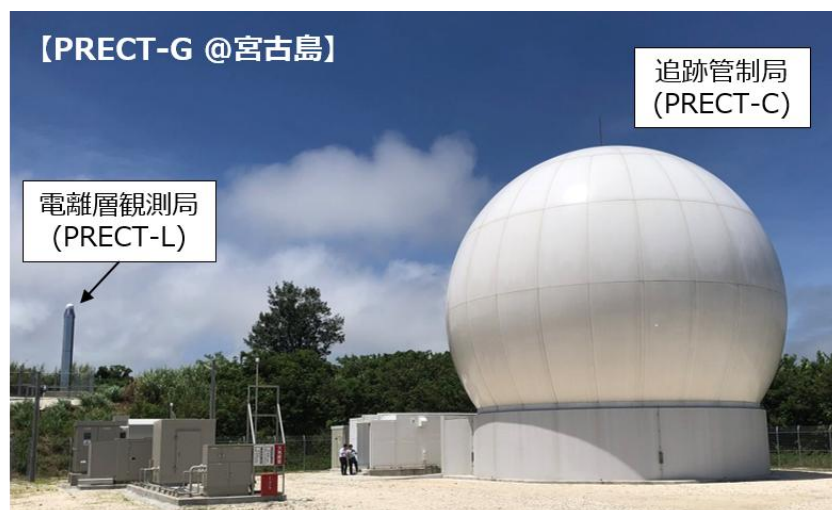


図 11 PRECT-G(宮古島)外観

衛星間測距システム(ISR:Inter-Satellite Ranging)

衛星から地球の監視局間の測距データのみによる従来の推定方式では軌道面内誤差が数 m 生じていました。これは、「みちびき」(特に静止衛星)は GPS 等の全地球航法衛星システム (GNSS)とは異なり、地上からの見かけの軌道変化が少ないことから生じるものです。また、「みちびき」の軌道が GPS 等と比較して高く、衛星から見える地球上の監視局が幾何学的に偏ってしまう(図 12 左)ために、衛星の進行(Along)方向、軌道面外(Cross)方向の位置推定誤差が悪化してしまいます。

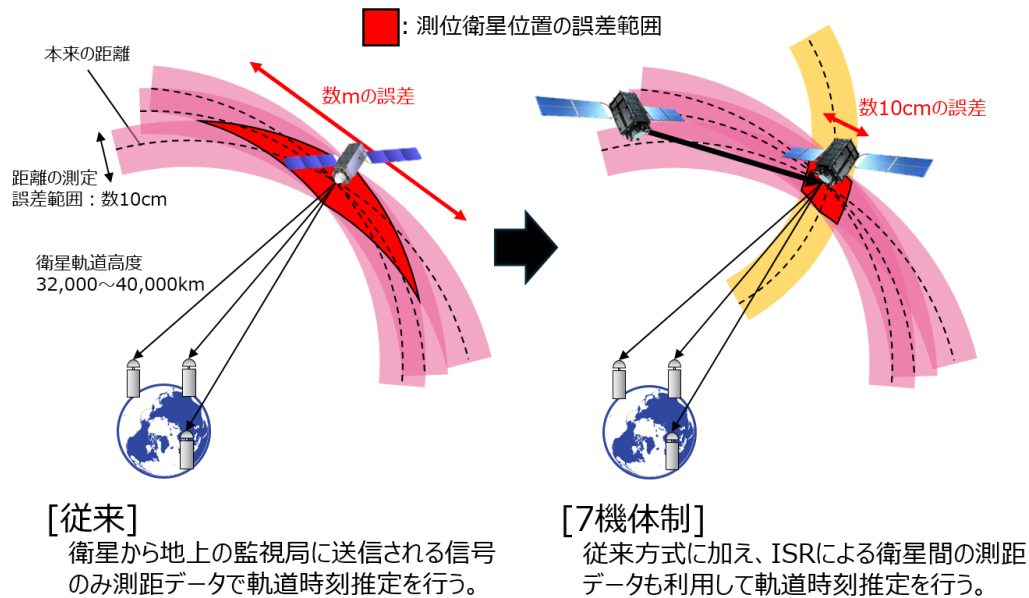


図 12 衛星間測距システム(ISR)の効果

ISR を用いて「みちびき」の他の衛星との距離を測ることは、宇宙空間に監視局を配置するのと同様な効果が得られ、監視局の空間的な偏りを改善させることができるために、衛星軌道面内の位置誤差を低減させることが可能となります(図 12 右)。類似の技術として、中国の Beidou では Inter-Satellite Link(ISL)の運用を実現しており、EU の Galileo では第二世代で ISL の導入が計画されています。ISR の測距信号がプラズマ圏で遅延する影響を除去するために、周波数の異なる二つの測距信号を送信します。また、静止軌道上には多くの衛星が存在しており、それらの衛星への電波干渉を避けるために、静止軌道の 6 号機、準静止軌道の 7 号機は受信機能のみとし、準天頂軌道の 5 号機のみが送信機能を搭載しています。ISR アンテナは送受信共通の設計であり、5 号機に 4 本、6,7 号機に 2 本搭載しています。

残念ながらみちびき 5 号機の喪失により、ISR の実証はすぐにはできなくなりましたが、将来的に打ち上げられる「みちびき」にも PRECT と ISR は搭載される計画です。

測位信号の軌道上健全性監視

ASNAV では、測位信号の更なる高信頼化に向けて、軌道上で自身の健全性を監視する新たな仕組みを二つ具備しました。一つ目は、みちびきに複数搭載した原子時計を相互に比較することで異常を監視する「オンボード時刻比較監視」、二つ目は、生成した送信信号をアンテナで折り返して自身で受信することで信号の健全性を監視する「L 帯測位信号折返し監視」です。

これらの健全性監視機能と従来の監視方法を組み合わせることで、衛星に何らかの異常が生じた場合でも、ユーザにより早く、確実に異常を知らせることができ、信頼性の高い位置・時刻情報が提供できるようになります。

次世代高精度軌道時刻推定システム(PROCEED)

ASNAV では、PRECT と ISR から得られる観測データを用いて、測位衛星の軌道時刻推定を行い、ASNAV で新規に搭載した機能の有効性を検証します。このシステムを「次世代高精度軌道時刻推定システム(PROCEED)」と呼びます。PROCEED は、JAXA が開発した複数 GNSS 対応高精度軌道時刻推定ツール(Multi-GNSS Advanced Demonstration tool for Orbit and Clock Analysis:MADOCA)を活用し、既存の観測データである L 帯測位信号に加え、ISR および PRECT の観測データを用いて軌道時刻推定を行います。「みちびき」のみでの測位の実現性確認、SIS-URE 精度向上効果を検証することを目的としています。

4. 打上げから高精度測位システム実証運用まで

衛星打上げ後、衛星を所定の軌道に投入するまでの運用(オービットレイジング)は、衛星製造事業者にて実施されます。衛星に搭載される ASNAV 機器は、所定の軌道に投入後、軌道上での衛星バス及びペイロードの機能・性能を確認する軌道上チェックアウトの開始時に初めて起動することになります。

その後、約 3 ヶ月をかけて ASNAV に係る軌道上チェックアウトを実施し、運用事業者での End-to-end 試験が完了した後に、高精度測位システム実証運用を開始する計画です。みちびき 7 号機を打ち上げた後、2028 年度末までに計画に基づき、ASNAV を使用した測位精度の向上に向けた運用を実施します。

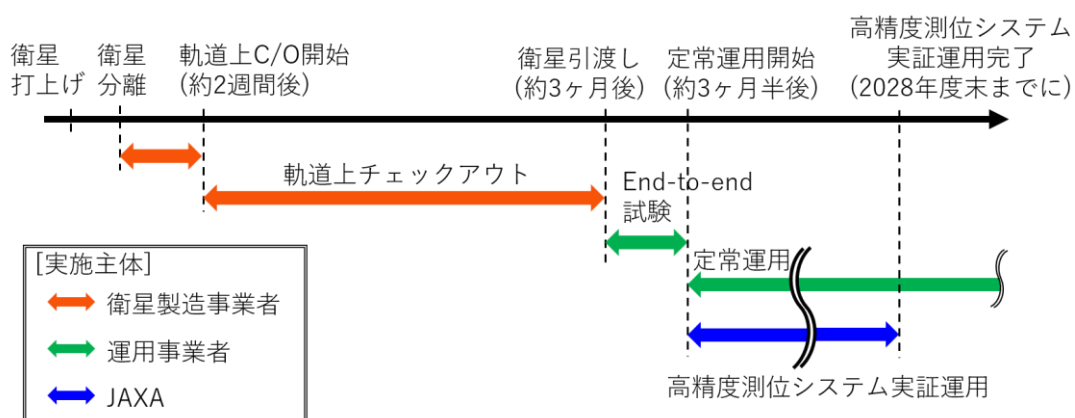


図 13 みちびき 7 号機の打上げから ASNAV 実証運用までの流れ

Appendix

Web サイト

- みちびき 7 号機×ASNAV×H3 ロケット 9 号機特設サイト
<https://fanfun.jaxa.jp/countdown/h3f9/index.html>
- サテライトナビゲータ「高精度測位システム(ASNAV)」
<https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/project/asnav/index.html>
- 「明日のナビゲーションを開拓する」ASNAV
～「みちびき 5 号機」の喪失を乗り越えて～
<https://www.satnavi.jaxa.jp/ja/news/2026/06/25/12517/index.html>

説明資料

- 高精度測位システム(ASNAV)技術説明リーフレット
[https://www.satnavi.jaxa.jp/files/project/asnav/data/JAXA ASNAV L eaflet.pdf](https://www.satnavi.jaxa.jp/files/project/asnav/data/JAXA_ASNAV_L_eaflet.pdf)

画像・動画

- ASNAV(Advanced Satellite Navigation System)紹介動画(3 分 23 秒)
https://youtu.be/tUSy_UOT3MM?si=dAHCeBV9eBIMI-KN



国立研究開発法人 宇宙航空研究開発機構
第一宇宙技術部門
高精度測位システムプロジェクトチーム