



高精度測位システム(ASNAV:Advanced Navigation System)は、内閣府が進める準天頂衛星システム「みちびき」7機体制時における測位精度をさらに高精度化させるシステムです。

「みちびき」だけの信号を使って測位可能な”持続測位”を実現する7機体制の構築に向けて、新たに整備された3機の衛星には、従来の測位ペイロードに加え、測位精度向上のために高精度測距ペイロード(PRP:Precise Ranging Payload)を新規に開発し搭載しています。PRPは、衛星間測距(ISR:Inter Satellite Ranging)機能および衛星/地上間測距(PRECT: Precise Ranging with Exact Comparison of Time)機能を有しており、これらの機能により、衛星の位置・時計の誤差に起因する測距誤差であるSIS-URE (Signal In Space-User Range Error) を大きく低減させることができます。将来、ASNAVのコア技術が「みちびき」の全ての衛星に搭載されると、スマートフォンのような一般的な受信機で現在5~10m程度のユーザ測位精度が、約1mまで向上することが期待されます。

なお、JAXAはASNAVの開発・実証を内閣府からの受託事業として実施しています。

The Advanced Navigation System (ASNAV) is a system that further enhances positioning accuracy for the Quasi-Zenith Satellite System “MICHIBIKI” when operating with seven satellites, as promoted by the Cabinet Office.

To achieve a seven-satellite constellation capable of “continuous positioning” using only Michibiki signals, the three newly deployed satellites carry a newly developed Precise Ranging Payload (PRP) in addition to the conventional navigation payload. This PRP enhances positioning accuracy. The PRP possesses Inter Satellite Ranging (ISR) and Precise Ranging with Exact Comparison of Time (PRECT) capabilities. These functions significantly reduce SIS-URE (Signal In Space-User Range Error), the ranging error caused by satellite position and clock errors. In the future, when ASNAV's core technology is installed on all Michibiki satellites, it is expected that the user positioning accuracy, currently around 5 to 10 meters, will improve to approximately 1 meter using common receivers like smartphones.

JAXA is conducting the development and demonstration of ASNAV as a project commissioned by the Cabinet Office.

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」という言葉が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たりするだけでなく、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るなど、その利用領域は非常に広く、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すでに不可欠な存在になっています。

衛星測位の原理（ユーザ測位）

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。

- 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。
- 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。
- i), ii)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。
- ユーザの位置(x,y,z)を知るには、三つの方程式（三つの球面の交点を計算する）でよいのですが、受信機は誤差(Δt)を持つため、これを加えた四つの未知数を計算する必要があるため、四つの衛星からの測位信号が必要になります。
- 四つ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。

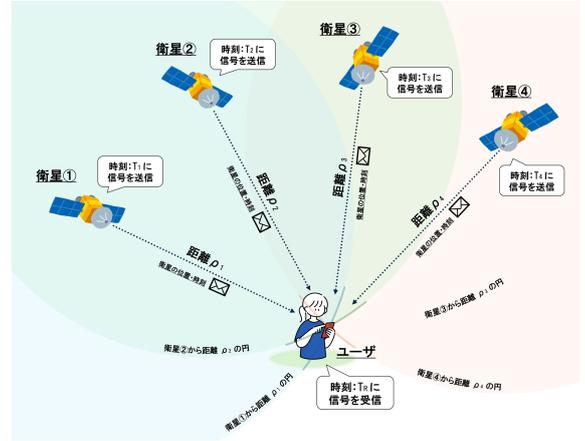


図1 ユーザ測位の原理

衛星測位システムの仕組み

「ユーザ測位」は複数の測位衛星の位置および時刻を基準とすることから、測位衛星の「位置・時刻」を正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・時刻」の算出はユーザ測位の原理と同じです。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複数の「監視局」（4局以上）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・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により、ユーザは自分がいる位置を知ることができるのです。

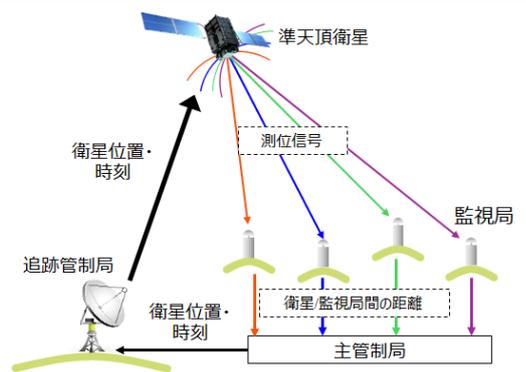


図2 測位衛星の位置と時刻の導出原理

準天頂衛星システム「みちびき」とその特徴

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。アメリカのGPSをはじめ、EUのGalileoなど世界各国で衛星測位システムは構築されており、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。JAXAは「みちびき」の初号機を開発し、2010年9月に打ち上げ、技術実証や実用運用を実施した後、2017年2月に技術成果とともに「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。2018年から4機体制での測位サービスが提供されており、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す。

「みちびき」7機体制の軌道配置図（図3）の通り、「みちびき」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機体制になることにより、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」単独での「持続測位」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見えるように見えます。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に設計した軌道が「準天頂軌道」です（図4）。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3 みちびき7機体制の軌道配置

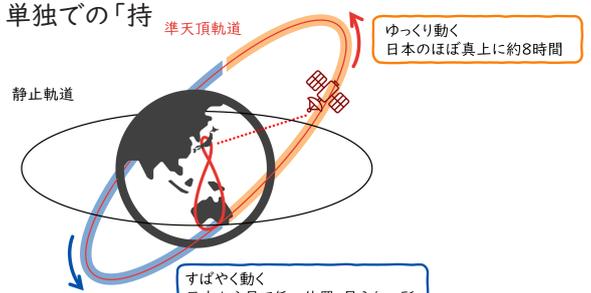


図4 準天頂軌道

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」の基本構成／測位精度向上のための課題

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5（A）～（D））

(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。

ここで、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（約4万km）や静止軌道（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います。

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う。

高精度測位システム（ASNAV）

従来の「位置・時刻」の推定技術の課題を解決するために、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、ユーザ測位精度を、現状の5～10m程度から1mに向上させることを目標としています。（図5 ①～③）

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

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

◆ ミッション管制サブシステム／次世代高精度軌道時刻推定システム（PROCEED）／システム共用部／検証用監視局

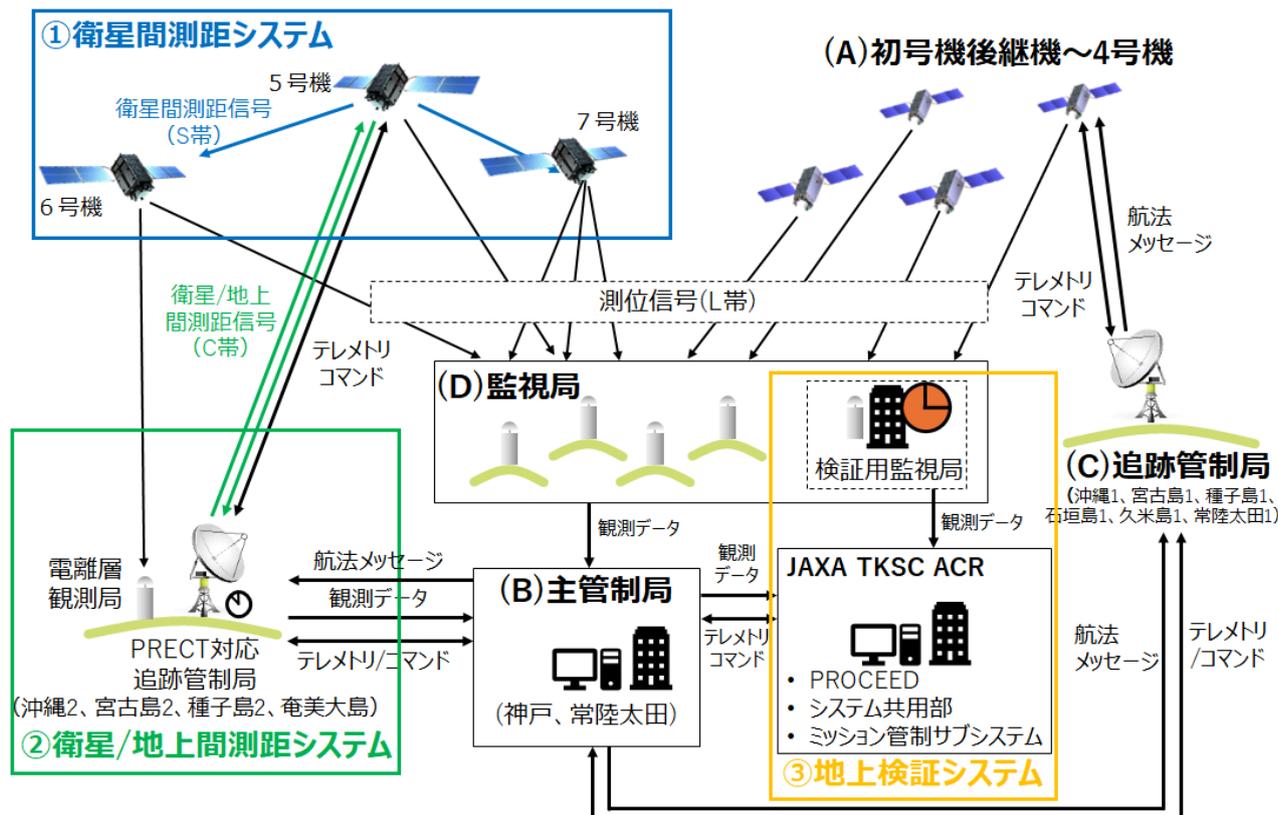


図5 準天頂衛星システム「みちびき」の基本構成

ASNAVのコア技術「ISR」と「PRECT」とは？

高精度測距システムペイロード (PRP)

衛星の位置・時計の誤差に起因する測距誤差であるSIS-URE (Signal In Space-User Range Error) を低減させるために新たに開発した「高精度測距システムペイロード (PRP: Precise Ranging Payload)」は「衛星間測距システム (ISR)」および「衛星/地上間測距システム (PRECT)」という二つの機能を有しています。

衛星間測距システム (ISR)

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6左)のために、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。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6右)。

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。なお、ISRの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。

5号機はISR測距信号を発信しながら準天頂軌道を周回しますが、静止軌道近傍を通過する際には静止軌道上の衛星への電波干渉を避けるため、ISR測距信号の送信を停止します。また、外部機関からの干渉回避依頼があった際には、被干渉衛星方向のアンテナのみを停波することも可能です。

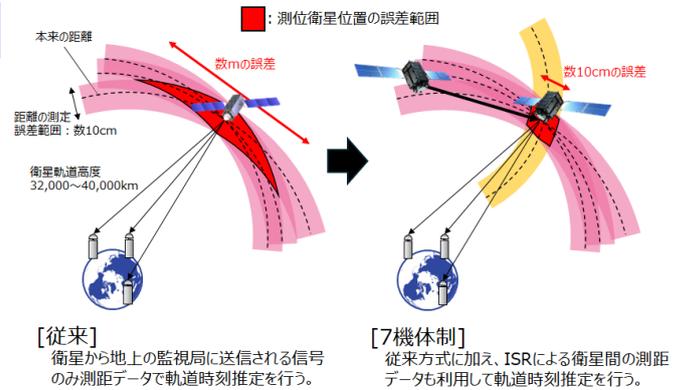


図6 衛星間測距システム (ISR) の効果

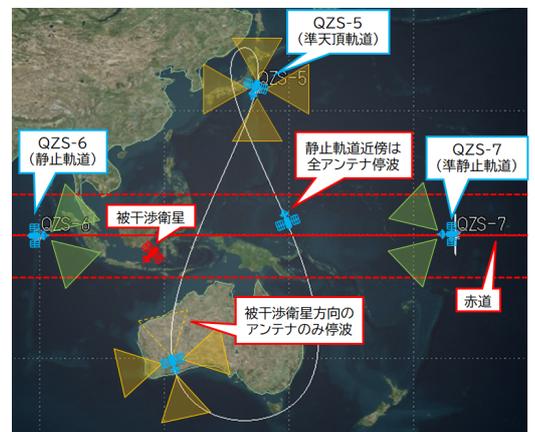


図7 ISRの運用制約

衛星/地上間測距システム (PRECT)

衛星から地上の監視局への一方向の従来の測距では、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です(図8右)。

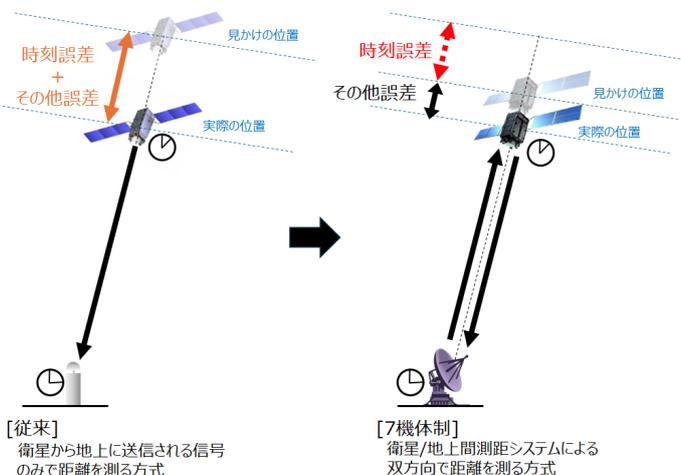


図8 衛星/地上間測距システム (PRECT) の効果

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、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。

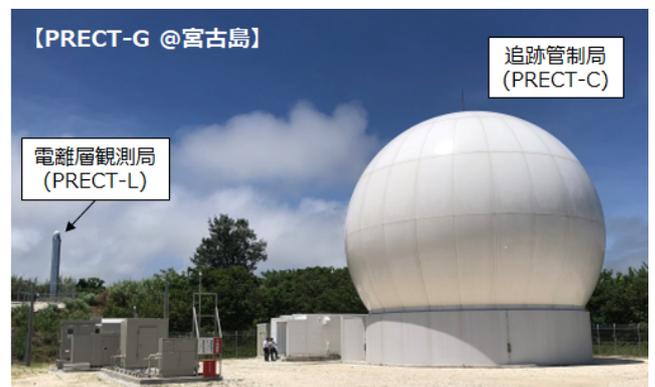


図9 PRECT-G (宮古島) 外観