



準天頂衛星初号機「みちびき」 の開発状況について

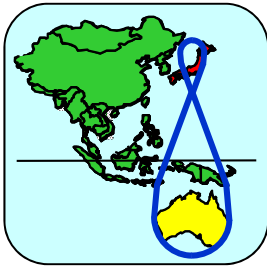
平成22年4月7日

(独)宇宙航空研究開発機構(JAXA)

宇宙利用ミッション本部

準天頂衛星システムプロジェクトチーム

プロジェクトマネージャ 寺田 弘慈



準天頂衛星システム計画の現状等について

日本付近で常に天頂方向に1機の衛星が見えるように複数の衛星を準天頂軌道に配置した衛星システムにより、山間地、ビル陰等に影響されず、全国をほぼ100%カバーする高精度の測位サービスの提供を実現



準天頂衛星システム計画の推進体制と計画

(地理空間情報活用推進基本法(平成19年5月成立、同8月施行))

国の技術開発

H15 研究開始
H16~ 開発研究
H18~ 開発

【宇宙開発委員会】

- ・H18.8 開発移行の審査・了承 (目標・目的・方針・体制)
- ・H18.11 具体的開発計画の審査・了承

第1段階(技術実証・利用実証)

H22 初号機打上げ予定
H22~ 実証・結果の評価

第2段階(システム実証)

官民の協力により
追加2機の準天頂衛星を打上げ

地理空間情報活用推進会議(平成17年9月 内閣に設置、平成20年6月名称変更)

| | | | |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--|
| 文部科学省 準天頂高精度測位実験技術 | 総務省 高精度衛星測位技術 | 経済産業省 衛星の軽量化・長寿命化技術 | 国土交通省 高精度測位の補正技術 移動体に対する高精度測位技術 |
|------------------------------|-------------------------|-------------------------------|--|

「準天頂衛星システム計画の推進に係る基本方針」(平成18年3月31日測位・地理情報システム等推進会議)
「地理空間情報活用推進基本計画(平成20年4月15日閣議決定)」

第1段階 文部科学省取りまとめ

研究開発4省による技術実証

文部科学省 総務省 経済産業省 国土交通省

システムの整備・運用 JAXA

民間 ((財)衛星測位利用推進センター(注))

関係府省庁

利用実証への参加

第2段階 国は、技術実証・利用実証の結果を評価した上で、民間と協力してシステム実証段階(追加2機)に移行
民間は、事業化判断を行い、事業内容、事業規模等に相応な資金を負担することで計画に参加

(注)平成19年2月5日関係4省共管にて設立

宇宙基本計画(平成21年6月宇宙開発戦略本部決定)においても測位衛星システムに位置付けられている

関係機関による連携・適切な分担
準天頂衛星システム開発・利用推進協議会
(関係省庁、関係研究開発機関、民間代表)

システムの成果

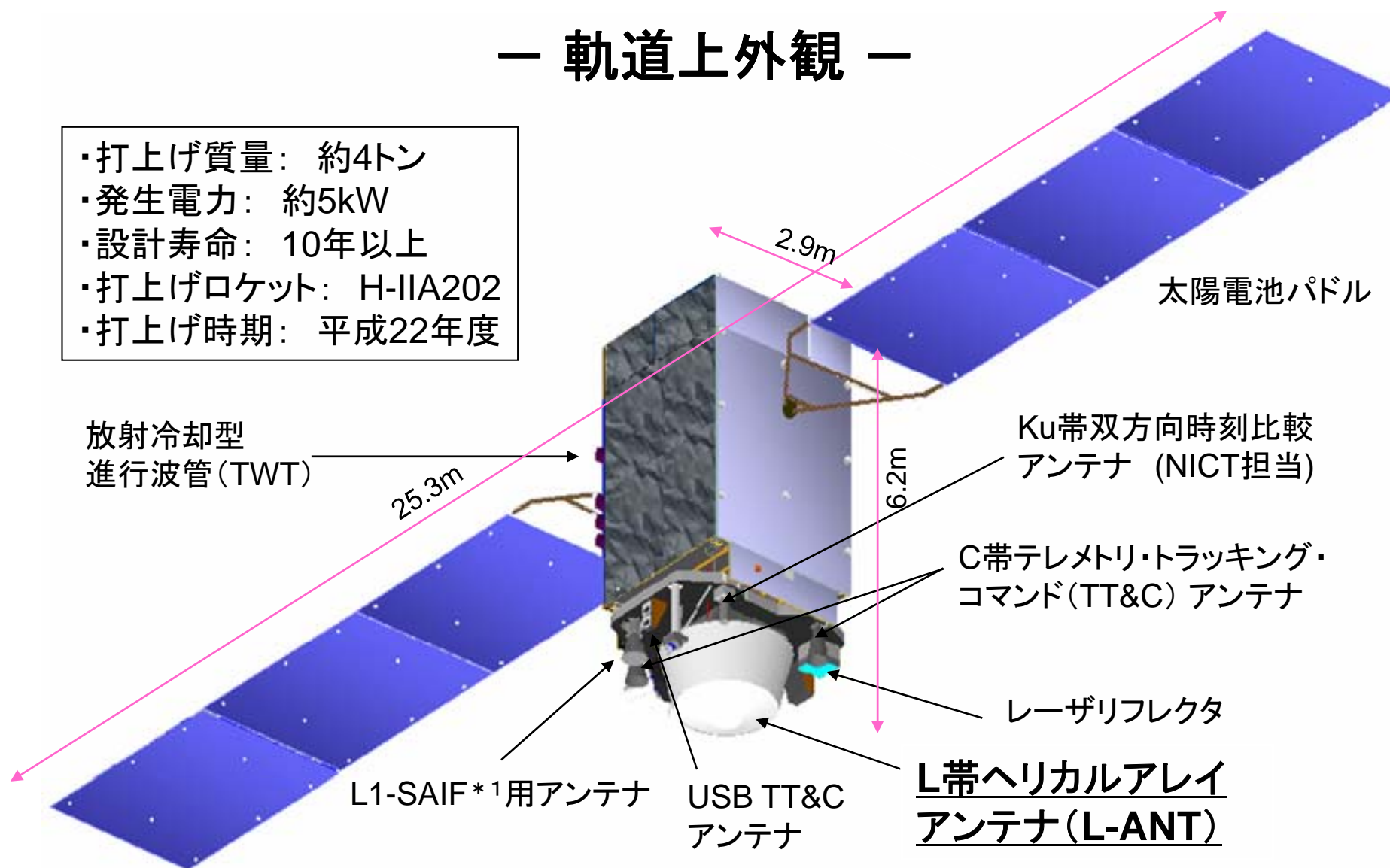
- ◎離島・山間部を含め、広く日本全体を対象とした測位サービスの提供
- ◎GPSの情報を補完・補強*することによる高精度測位を実現

*補完(測位補完): GPS互換信号を送信し、GPSとの組み合わせによって、利用可能エリアの拡大や利用可能時間を増加させること。
*補強(測位補強): 基準点で受信したGPS信号の誤差情報やGPS信号の使用可否情報等を送信して、測位の精度の高精度化や高信頼化を図ること。

準天頂衛星初号機「みちびき」

— 軌道上外観 —

- ・打上げ質量： 約4トン
- ・発生電力： 約5kW
- ・設計寿命： 10年以上
- ・打上げロケット： H-IIA202
- ・打上げ時期： 平成22年度



* 1 L1-SAIF; 高速移動体向け補強信号

「みちびき」の開発状況

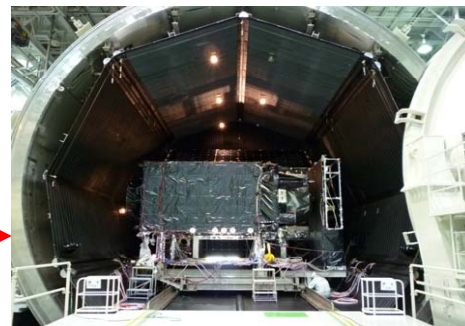
衛星システム試験



初期電気性能試験
(2009.8.20-9.3)



初期アライメント調整
(2009.9.5-9.10)



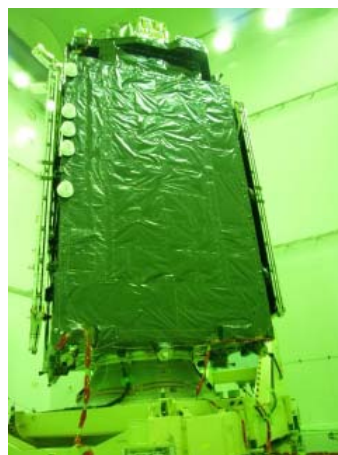
熱真空試験準備
熱真空試験
(2009.10.1-10.30)



衛星組立後電気性能試験
(2009.11.21-11.22)



正弦波振動試験
(2009.12.8-12.29)



音響試験
(2010.1.7-1.8)



分離衝撃試験
(2010.1.13-1.14)

最終推進系試験
(2010.1.26-2.4)
最終電気性能試験
(2010.2.5-2.19)
総合システム検証
(2010.2.20-3.9)
アンテナ干渉/RFプレゼンス試験
(2010.3.10-3.16)
衛星最終組立
(2010.3.17-3.31)
衛星最終組立後電気性能試験
(2010.4.1-4.2)
機械環境試験後アライメント
(2010.4.3から実施中)
質量特性試験

2010.4月中旬完了予定

マスターコントロール実験局(MCS)

- モニタ実験局(MS)から送信されるデータをもとに衛星時刻及び地上時刻の誤差を精密に管理し、衛星(準天頂衛星初号機及びGPS衛星)の位置を精密に推定。
- 本機能は、「だいち」等の軌道決定において実績を有する「高精度軌道決定システム」の技術、及び「きく8号」の高精度時刻基準装置(HAC)の技術を活用。
- 衛星管制システムを同施設に設置し、運用を一体化。
- 設備・装置の開発、現地工事、関係研究開発機関(GSI、NICT、ENRI、AIST^[注])の整備する地上システムとの結合試験を完了。
- 総合システム検証において、地上システム(各研究開発機関開発分を含む)～衛星実機～実験用受信機のEnd-to-Endの疎通等の確認を完了。



【注】

GSI: 国土地理院

NICT: 情報通信研究機構

ENRI: 電子航法研究所

AIST: 産業技術総合研究所

モニタ実験局 (MS)

- 準天頂衛星、GPS衛星の軌道や時刻のずれを正確に推定し、放送されている信号が健全であることをモニタするため、幾何学的配置を考慮し、国内外に設置。
- 受信アンテナ、地上用原子時計を含む屋内装置から構成され、放送される信号等を直接受信し、データを地上回線により準リアルタイムでマスターコントロール実験局(MCS)に送信。
- 国内外の関係機関との協力により、国内に4局、海外に5局設置。
 - 3月末現在、サロベツ局、小金井局、沖縄局、父島局、ハワイ局、グアム局、タイ局の設置完了
 - 4月末までに、インド局、キャンベラ局の設置予定。

モニタ実験局設置場所

| 局名 | 設置場所 | 施設名 |
|--------|-----------------------|--|
| サロベツ局 | 北海道 豊富町 | NICT／サロベツ電波観測施設 |
| 小金井局 | 東京都 小金井市 | NICT／小金井本部 |
| 父島局 | 東京都 小笠原村 | JAXA／小笠原追跡所 |
| 沖縄局 | 沖縄県 恩納村 | NICT／沖縄亜熱帯計測技術センター |
| ハワイ局 | 米国ハワイ州 ワイメア(カウアイ島) | NASA／ Kokee Park Geophysical Observatory |
| グアム局 | 米国領 グアム | NOAA／ Weather Forecast Office |
| インド局 | インド バンガロール | インド宇宙研究機関(ISRO)／ 追跡管制センター(ISTRAC) |
| タイ局 | タイ王国 バンコク | アジア工科大学(AIT)／ Geoinformatics Center(GIC) |
| キャンベラ局 | オーストラリア キャンベラ | Geoscience Australia (GA) ／ Mt. Stromlo SLR Observatory |

屋内装置



アンテナ



実験用受信機

- 都市部、山間部等におけるアベイラビリティの改善効果等について実測により確認(技術実証)するために、モニタ実験局と同様の受信機により構成。
- 準天頂衛星から送信されるすべての信号の受信可能。
2台整備し、車載により移動可能。(約45x50x30cm、30kg)

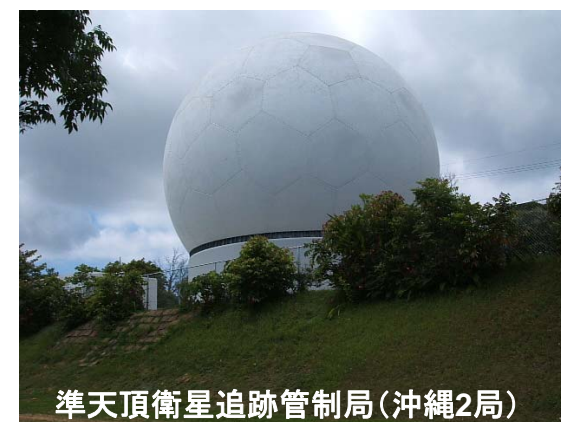
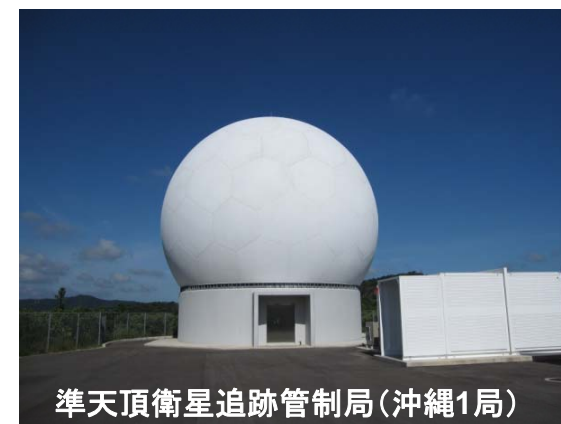
(参考)

(財)衛星測位利用推進センター(SPAC)により、利用実証用に端末を開発中。

準天頂衛星追跡管制局(QZS-GT)

- 準天頂衛星初号機を常時運用する要求に応じ、専用追跡管制局として新規整備。
 - 沖縄宇宙通信所(沖縄県恩納村)に2局を整備。
 - 荒天対策としてレドーム付き。
- アンテナ設置工事、各種装置の設置・試験を完了。
- なお、準天頂軌道投入までは、既存のJAXA地上ネットワークシステム(GN)を使用する。

| 項目 | 設計値 |
|--------|-------------------|
| アンテナ形式 | カセグレンアンテナ |
| アンテナ口径 | 7.6m (レドーム直径約14m) |
| 周波数帯域 | 5GHz (C帯) |
| 要求稼働率 | 99.5%以上 |
| 耐風速 | 90m/sec以上 |



今後の予定

- 5月上旬 「みちびき」種子島へ輸送
- 5月中旬～ 射場搬入後試験／
射場整備作業
平成22年度「打上げ」
- 打上げ後3ヶ月間 初期機能確認運用
- 打上げ3ヶ月後～ 技術実証実験開始



ロケットのデカール (3.0×4.2m)



参 考

「みちびき」から放送する測位信号

| 信号種類 | 信号名称 | 中心周波数(MHz) | 特徴 | 実験運用担当機関 | 備考 |
|-------------|---------|---|--|--|--|
| 測位補完 | L1-C/A | 1575.42 | GPSのL1C/A信号と相互運用性を有す。L1帯の現行民生用信号(カーナビなどに広く利用) | JAXA | この信号を有するGPSは2010年4月現在、31機運用中 |
| | L2C | 1227.6 | GPSのL2C信号と相互運用性を有す。第2の民生用信号、2周波対応受信機の低価格に期待 | JAXA | この信号を有するGPSは2005年打上げ開始、2016年に配備完了予定。 |
| | L5 | 1176.45 | GPSのL5信号と相互運用性を有す。第3の民生用信号 高出力、広帯域化により、室内利用、測距精度改善、マルチパス誤差の低減期待 | JAXA | この信号を有する新型GPSは2010年打上げ開始予定。2018年に配備完了予定。 |
| | L1C | 1575.42 | GPSのL1C信号と相互運用性を有す。第4の民生用信号 L1 C/A信号より、高出力、広帯域化により、測距精度改善、マルチパス誤差の低減期待 | JAXA | この信号を有する新型GPSは2014年打上げ開始、2020年代初頭に配備完了予定。 |
| 測位補強 | L1-SAIF | 1575.42 | 補正情報、インテグリティ情報を250bpsの速度で配信する。これにより、1m以内の精度で移動体の位置精度を決定する(ENRI)。すでに実用化されているSBAS(静止衛星による補強システム:日本ではMSAS)と互換性を有するため受信対応は容易。 | 国土交通省 | SBASは日本ではMSASが2007年から2機のMTSATを用いてサービス中。 |
| | | | ENRI開発L1-SAIF信号に、測位時間短縮のための捕捉支援情報を追加した信号(L1-SAIF+) | 衛星測位利用推進センター(SPAC) | |
| | LEX | 1278.75 | 独自の実験用信号。2kbpsの高速メッセージが送信可能であり、この信号を用いて以下のGPS補強実験及び、次世代衛星測位基盤技術実験を行う。 1周波測量(静止ユーザ)用の補正情報の配信実験。 低速移動体含む2周波搬送波位相測位ユーザ向けの補正情報の配信実験。 | — 国土交通省国土地理院(GSI) 衛星測位利用推進センター(SPAC) | 欧州Galileo衛星のE6信号と相互運用性を有す。Galileoは4機の軌道上実証機を2010~2011年に打ち上げた後、2013年までに16機の打上げが決まっている。(30機の整備完了は2015年ごろの予定) |
| 次世代測位基盤技術実験 | | 次世代基盤技術修得のため、精密な軌道情報や時刻のずれなどの情報を頻繁に送信することにより、測位精度の改善の実験を行う。 | JAXA | | |

*L1-SAIF: L1-Submeter-class Augmentation with Integrity Function

準天頂衛星システムの役割

研究開発4省の技術実証(1/5)

「GPS補完」

GPS互換信号を送信し、GPSとの組み合わせによって、利用可能エリアの拡大や利用可能時間を増加させる。

文部科学省

((独)宇宙航空研究開発機構(JAXA))

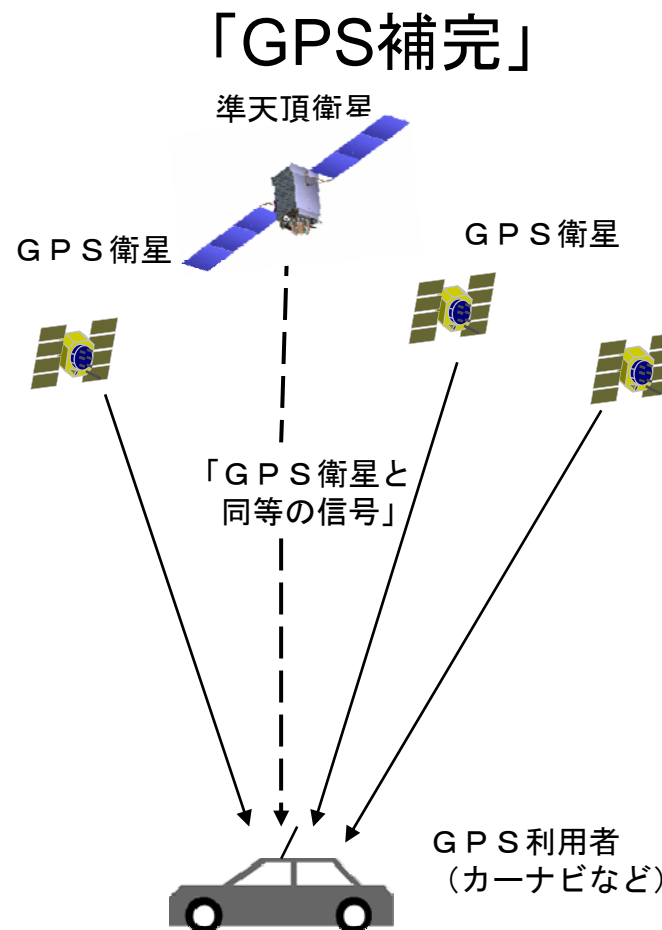
- 高精度測位実験システム開発とりまとめ -

総務省

((独)情報通信研究機構(NICT))

- 時刻管理系の開発及び軌道上実験 -

搭載時刻比較装置により、衛星内、地上-衛星間など、準天頂衛星システム内外の時刻比較を実施し、精度を検証する実験



GPSと「同等の信号」を送信する

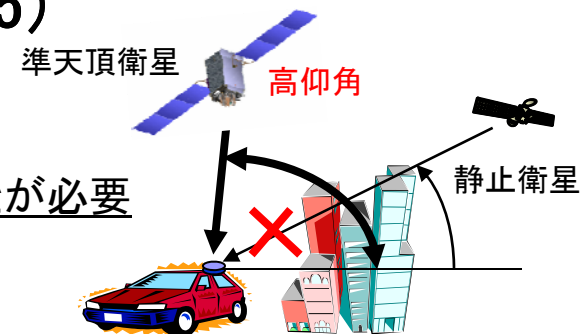
- ・ 利用可能なGPS衛星が天頂付近に1つ増える
⇒ 衛星測位が可能なエリアを広げる

準天頂衛星システムの役割

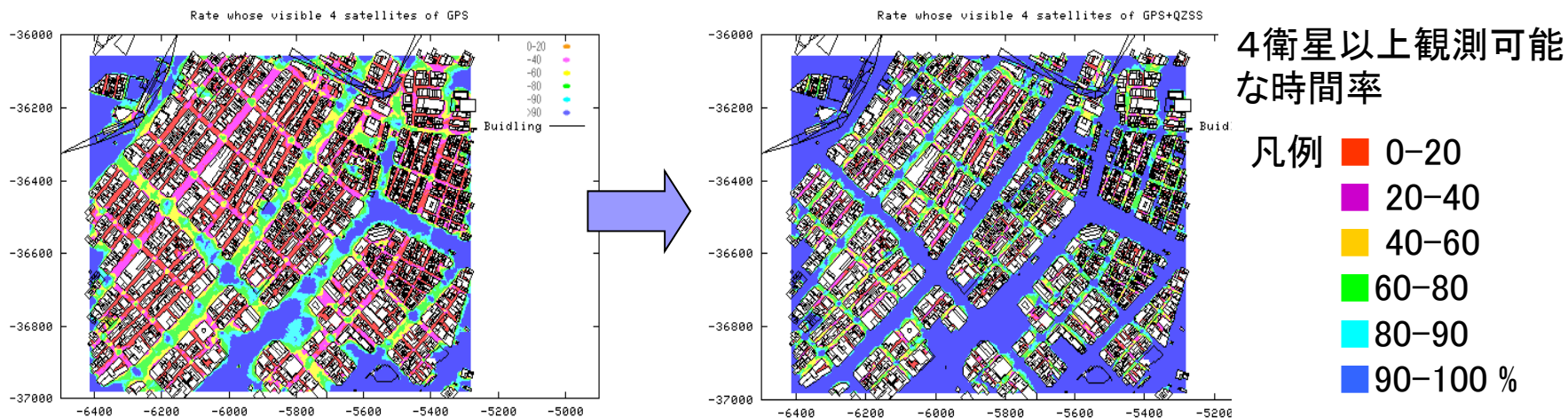
研究開発4省の技術実証(2/5)

「GPS補完」

- 測位(三次元測位)を行うには、測位衛星が、4機以上可視となることが必要
 - しかし、日本は山間地が多く、都市部には高い建物が密集している



- 可視衛星数が少なくなることにより、測位可能時間率の低下や測位精度の劣化(衛星配置の劣化)が起きる
 - カーナビ、パーソナルナビなど多くのユーザにとって非常に重要
- 準天頂衛星が少なくとも常時、1機が天頂付近に見えることにより、測位可能時間率および衛星配置改善による測位精度の向上が期待されている



都市部でのアベイラビリティ増大例(東京銀座地区3Dシミュレーション)

準天頂衛星システムの役割

研究開発4省の技術実証(3/5)

「GPS補強」

基準点で受信したGPS信号の誤差情報やGPS信号の使用可否情報等を送信して、測位の精度の高精度化や高信頼性化を測る。

国土交通省

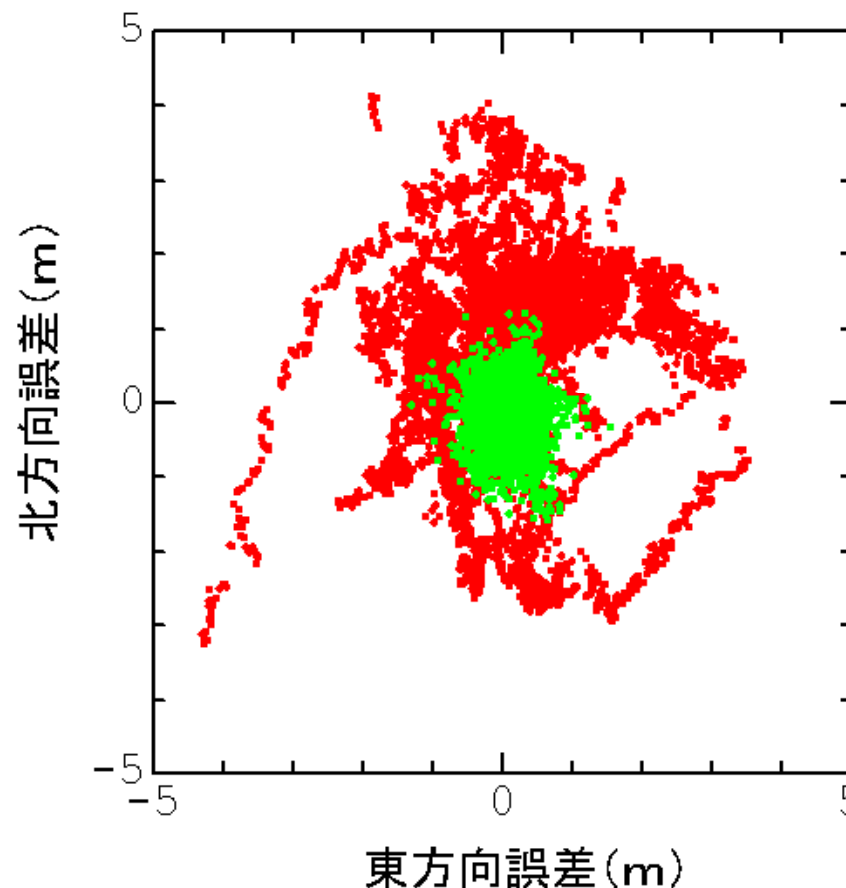
((独)電子航法研究所(ENRI))

-L1-SAIF信号による高精度補正技術の実証実験-

GPS/QZSSの測距補正情報(軌道、時刻、伝搬補正情報)及びインテグリティ情報を生成・送信する実験。

➤高精度・高信頼性の測位補正方式の開発

➤目標測位精度 1m程度



● GPSのみ

● GPS+L1-SAIF

準天頂衛星システムの役割

研究開発4省の技術実証(4/5)

「GPS補強」

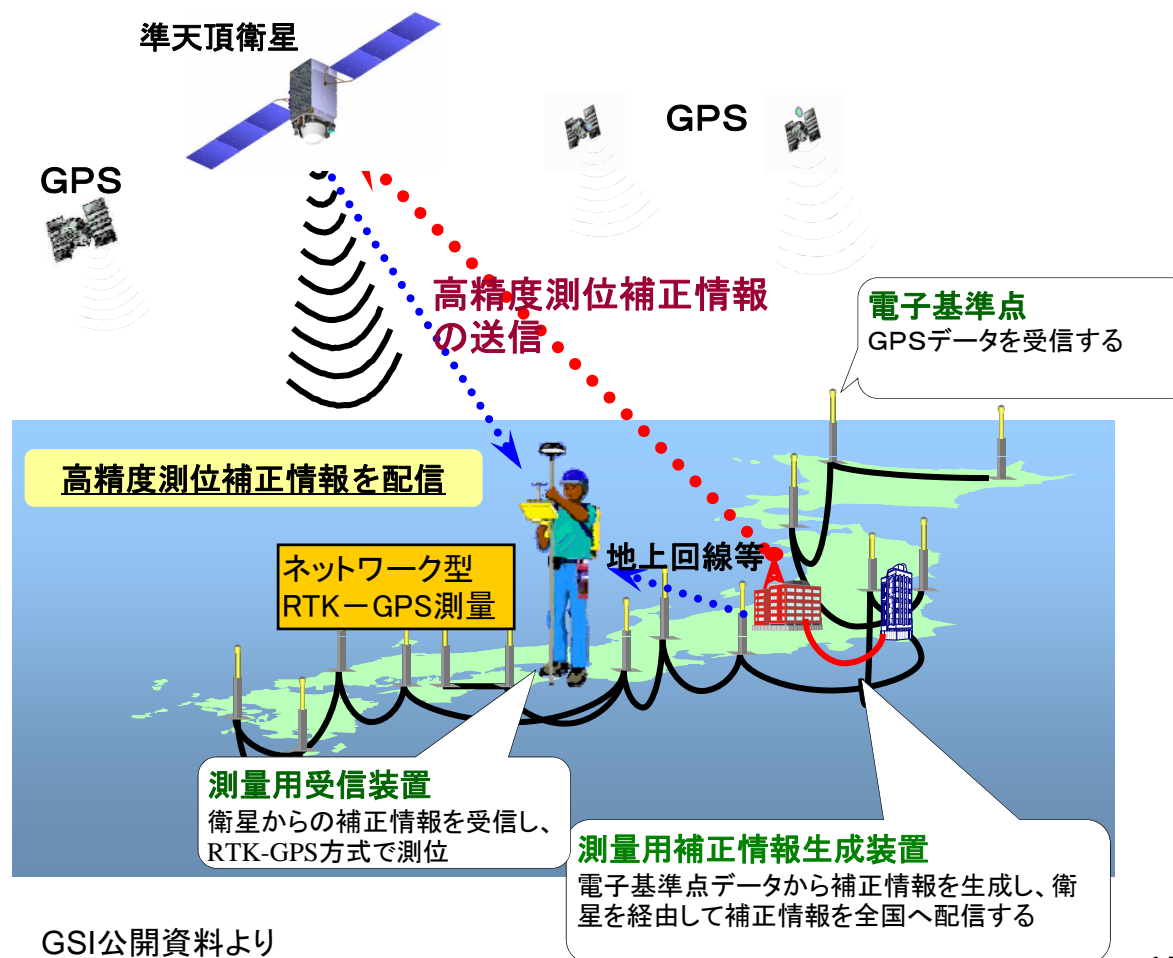
国土交通省
(国土地理院(GSI))

- LEX信号による高精度測位補正情報を用いたネットワーク-RTK型測位 -

GPS向けの測位補正情報を測量用補正情報生成装置にて生成し、LEX信号によって送信し、GPS測量への高精度補正に適用できることを確認する実験

➤ 1周波受信機を用いた測量用測位

➤ 測位時間は15分程度



GSI公開資料より

準天頂衛星システムの役割

研究開発4省の技術実証(5/5)

「次世代基盤技術修得」

実験用信号(LEX)による衛星測位実験や擬似時計技術の研究開発及び軌道上実験を行う。

文部科学省((独)宇宙航空研究開発機構(JAXA))

- 実験用信号による衛星測位基盤技術実験 -

GPS及びQZSS測位補正情報(軌道、時刻、伝搬補正情報)を生成し、LEX信号によって送信し、測位性能を向上できることを確認する実験。

経済産業省((独)産業総合技術研究所(AIST))

- 測位用擬似時計技術の開発・実証 -

搭載の原子時計の代わりに、地上においた高安定周波数基準により通信回線を使って搭載水晶発信器を連続的に校正し、それを周波数基準として測位信号の生成が可能であることを確認する実験。

準天頂衛星システムの役割

(参考) 民による利用実証の参加

(財)衛星測位利用推進センター(SPAC)

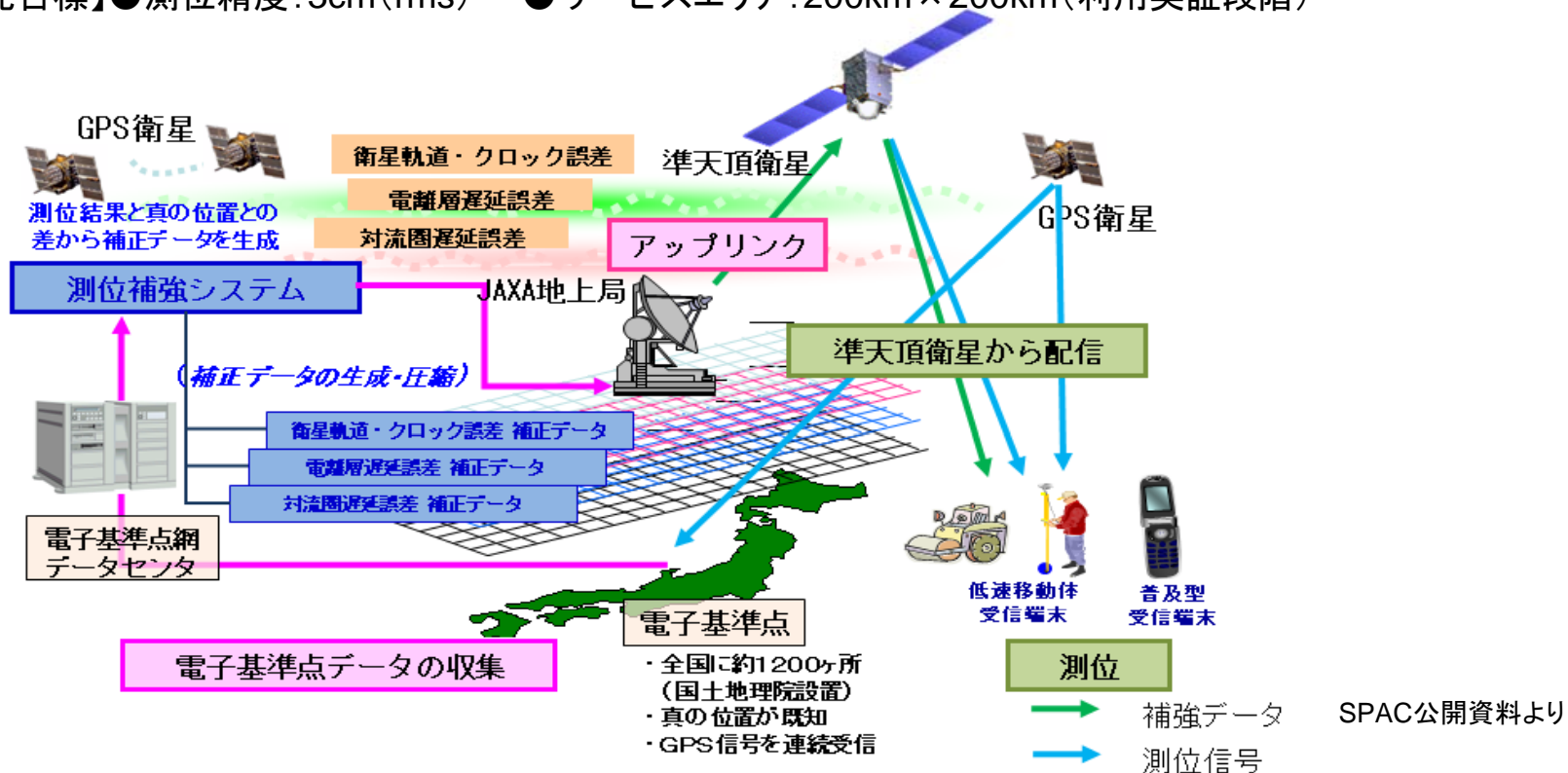
「サブm級補強システム」の開発

【開発目標】●測位精度:サブメータ級 1m(rms)以下 ●航法データ取得時間:15秒程度

「cm級測位補強システム」の開発

低速移動体での高精度(cm級)リアルタイム測位の実現に向けて、補強信号を準天頂衛星の伝送容量(2kps)に適合するよう圧縮して配信するシステム

【開発目標】●測位精度:3cm(rms) ●サービスエリア:200km×200km(利用実証段階)



準天頂衛星システムにより改善される測位サービス

■ 測位可能時間の向上

- 高仰角からのGPS補完信号の送信により、測位可能時間率は、約90%(GPSのみ)から99.8%(GPS+準天頂衛星3機)に向上

■ 測位精度の向上

- 補強信号の送信等により、精度改善

■ 測位信頼性の向上

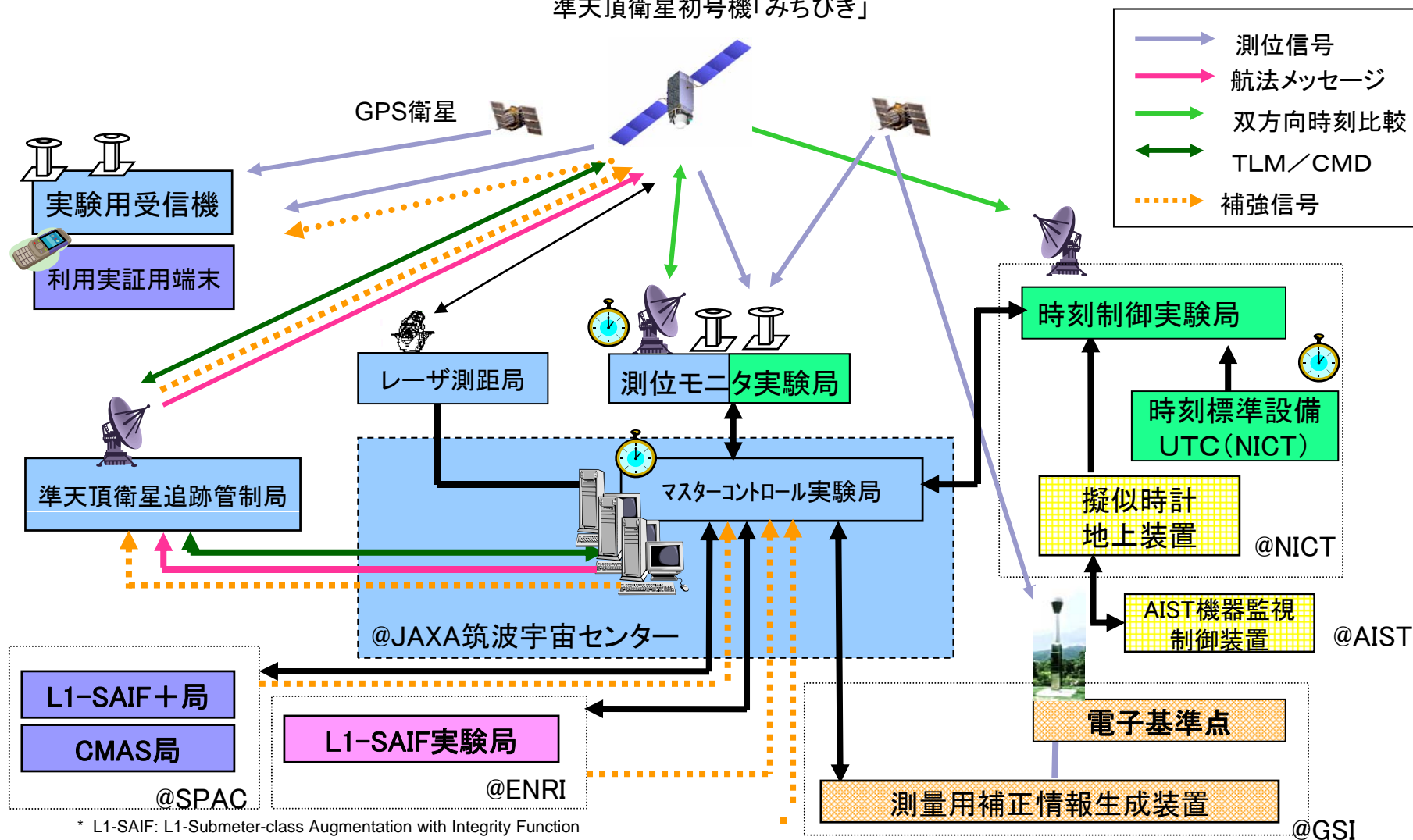
- 地上局により監視し、準天頂衛星やGPS衛星の異常を数10秒以内でユーザに通知

■ 捕捉時間の短縮

- 捕捉するまでの時間は、GPSでは30秒から1分程度必要としているが、準天頂衛星により日本のユーザは、15秒程度で捕捉情報を入手可能

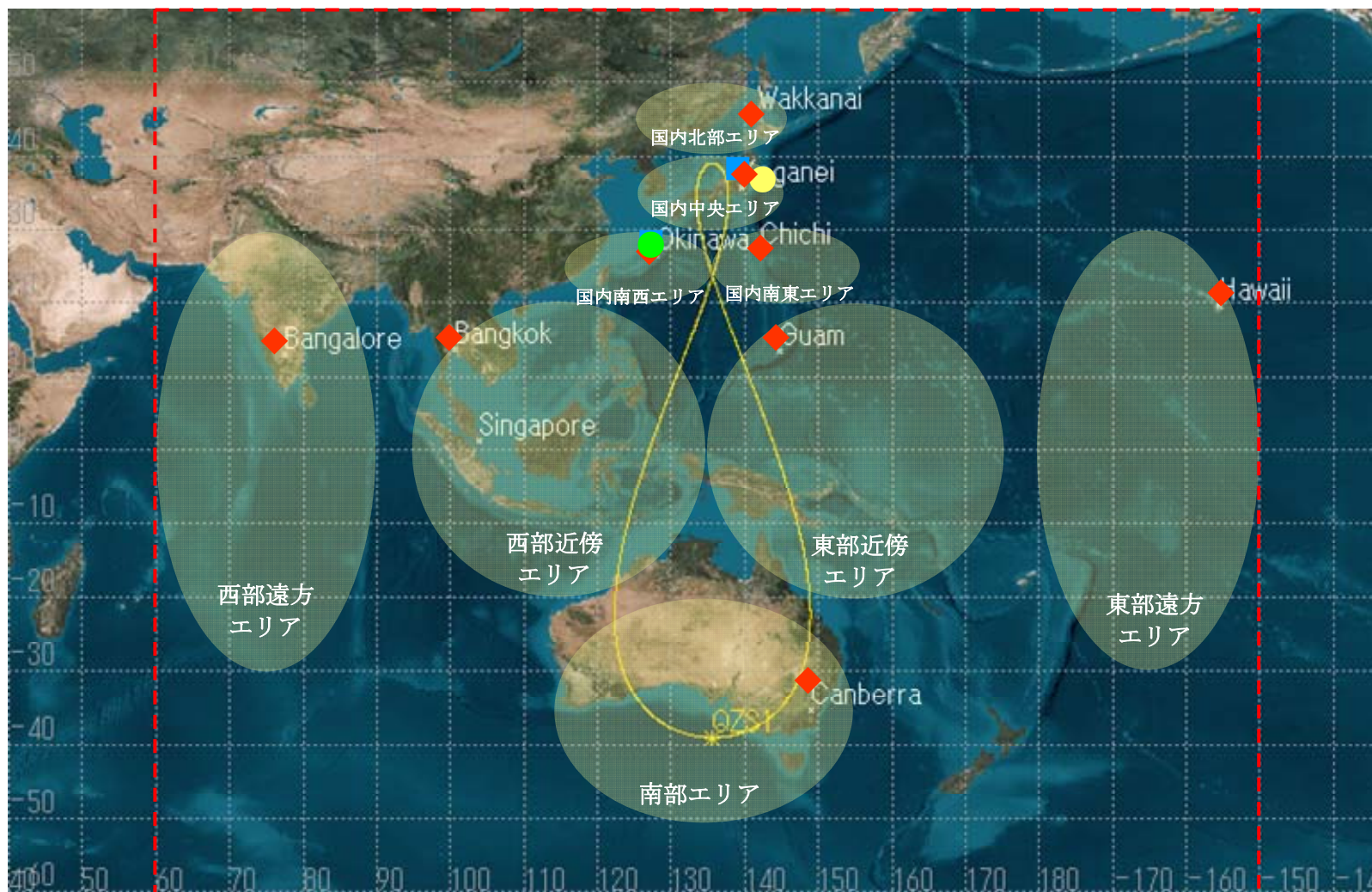
準天頂衛星システムの構成

準天頂衛星初号機「みちびき」



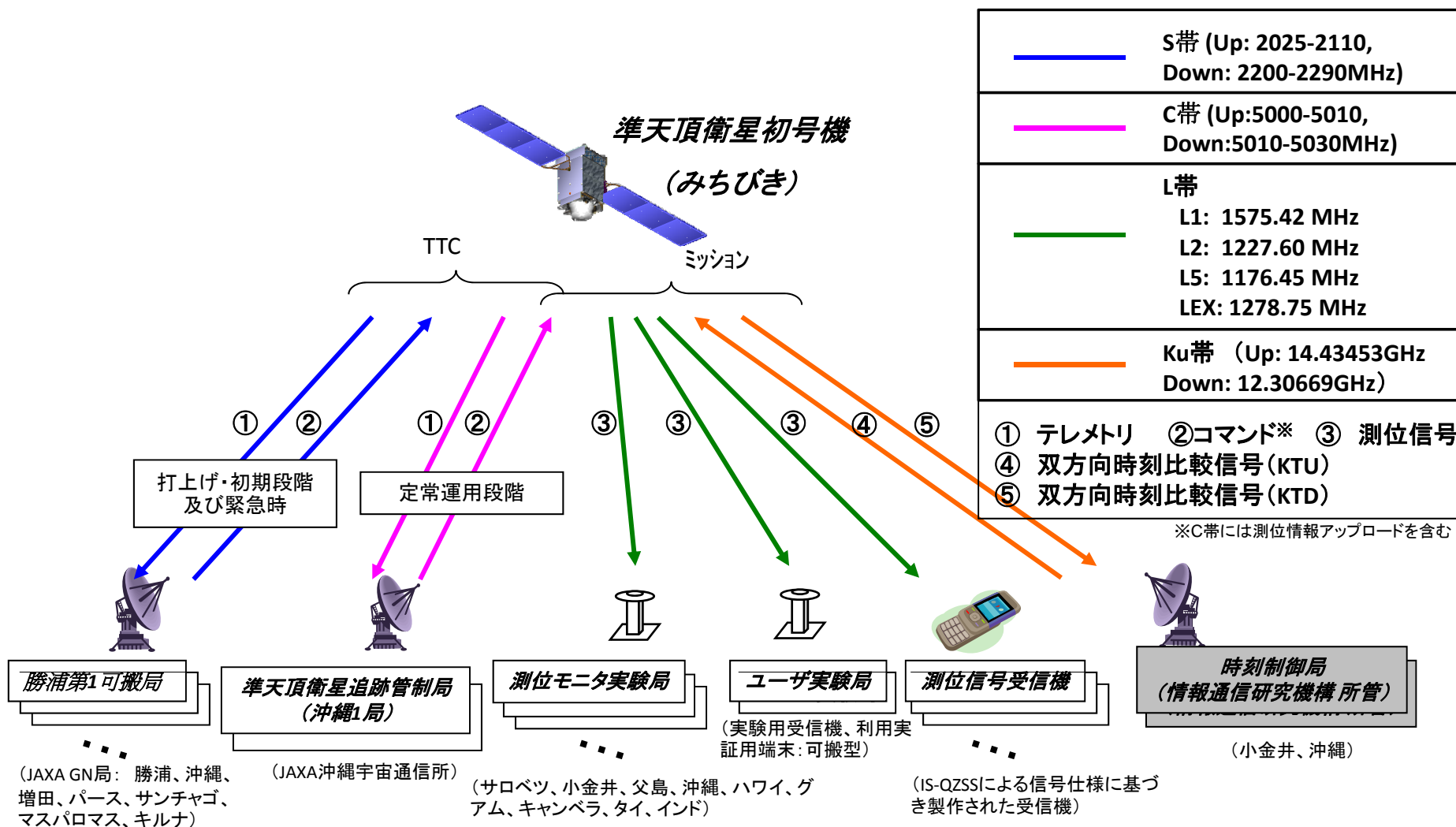
* L1-SAIF: L1-Submeter-class Augmentation with Integrity Function

地上システムの配置図



- マスターコントロール実験局(つくば)
- 時刻制御実験局(小金井、沖縄)
- ◆ モニタ実験局(小金井、沖縄、サロベツ、父島、ハワイ、グアム、キャンベラ、インド、タイ)
- 準天頂衛星追跡管制局(沖縄)

準天頂衛星システム通信系統構成



「みちびき」の主な特徴(測位ミッション搭載機器)

1. 高い安定度を有する時刻基準

- 長期の安定度が優れている原子時計(準天頂衛星搭載品は、近代化GPSの原子時計と同等品)および短期の安定度が優れている電圧制御水晶発振器(VCXO)の両者の長所を合わせもつ時刻システム



ルビジウム原子時計

2. 高利得かつ整形されたアンテナパターンを実現

- 軌道高度が高く(準天頂軌道はGPS高度の約2倍)、また、楕円軌道に対応するため、高利得かつ整形したアンテナパターンを実現
- また、ユーザの受信電力は、GPS衛星とほぼ同一



19素子ヘリカルアレイアンテナ

「みちびき」の主な特徴(衛星バスシステム)

■ バスシステムの特徴

- 既存静止衛星バス(ETS-VIII)技術の最大限の活用
- 頑健性の強化
 - 電源系の完全2重化(パドル1翼故障時にも補完信号の送信電力を確保)
 - 異種姿勢センサの再構成による冗長性(地球センサ、恒星センサ、ジャイロ)
- 経済産業省・NEDO・USEF研究成果の活用
 - 軽量化(一体成型複合材料構造,等)、長寿命化(175Ahリチウムイオンバッテリー)
- 測位サービス停止となるスラスタ噴射運用の最小化
 - 衛星形状、重心位置設計による太陽輻射外乱への配慮。