

ICTイノベーションフォーラム2012
準天頂衛星システムの研究開発
-特に時刻管理系について-

情報通信研究機構電磁波計測研究所

時空標準研究室

2012年10月2日



謝辞: 本研究の成果は、総務省の委託研究「準天頂衛星システムの研究開発」プロジェクトによるものである

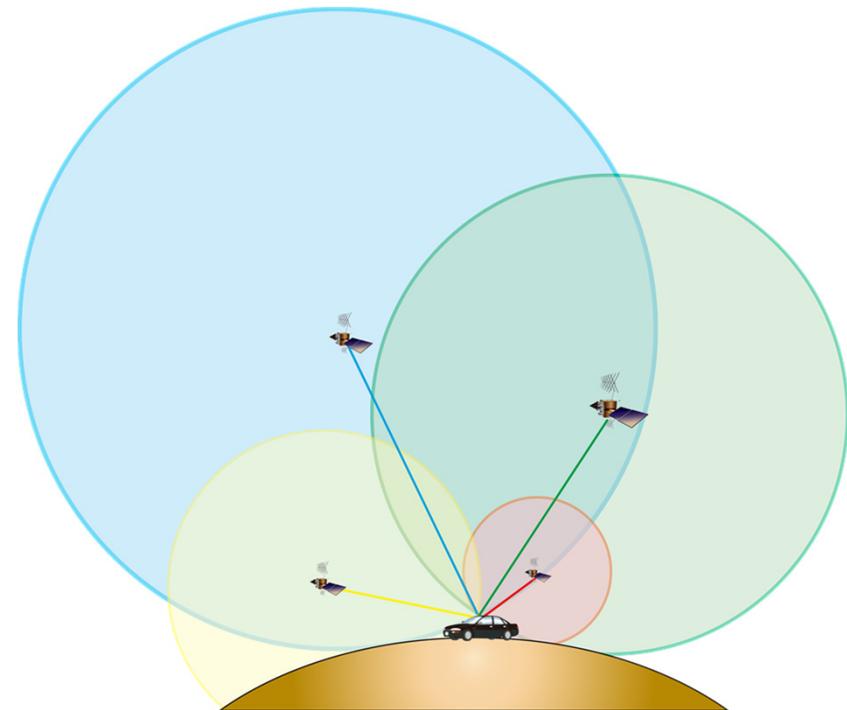
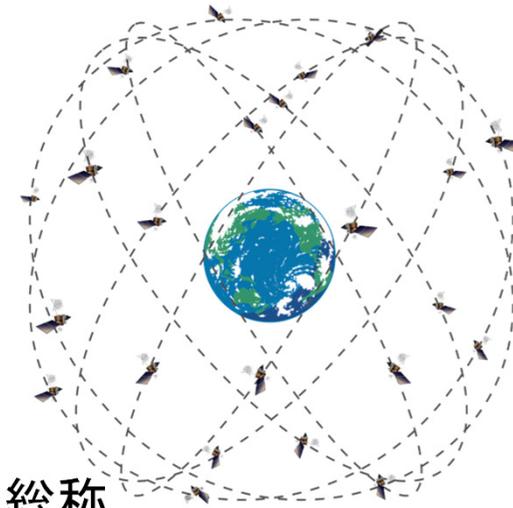
本日の内容

- 背景と目的
- 研究開発体制
- 研究開発の成果
- まとめ

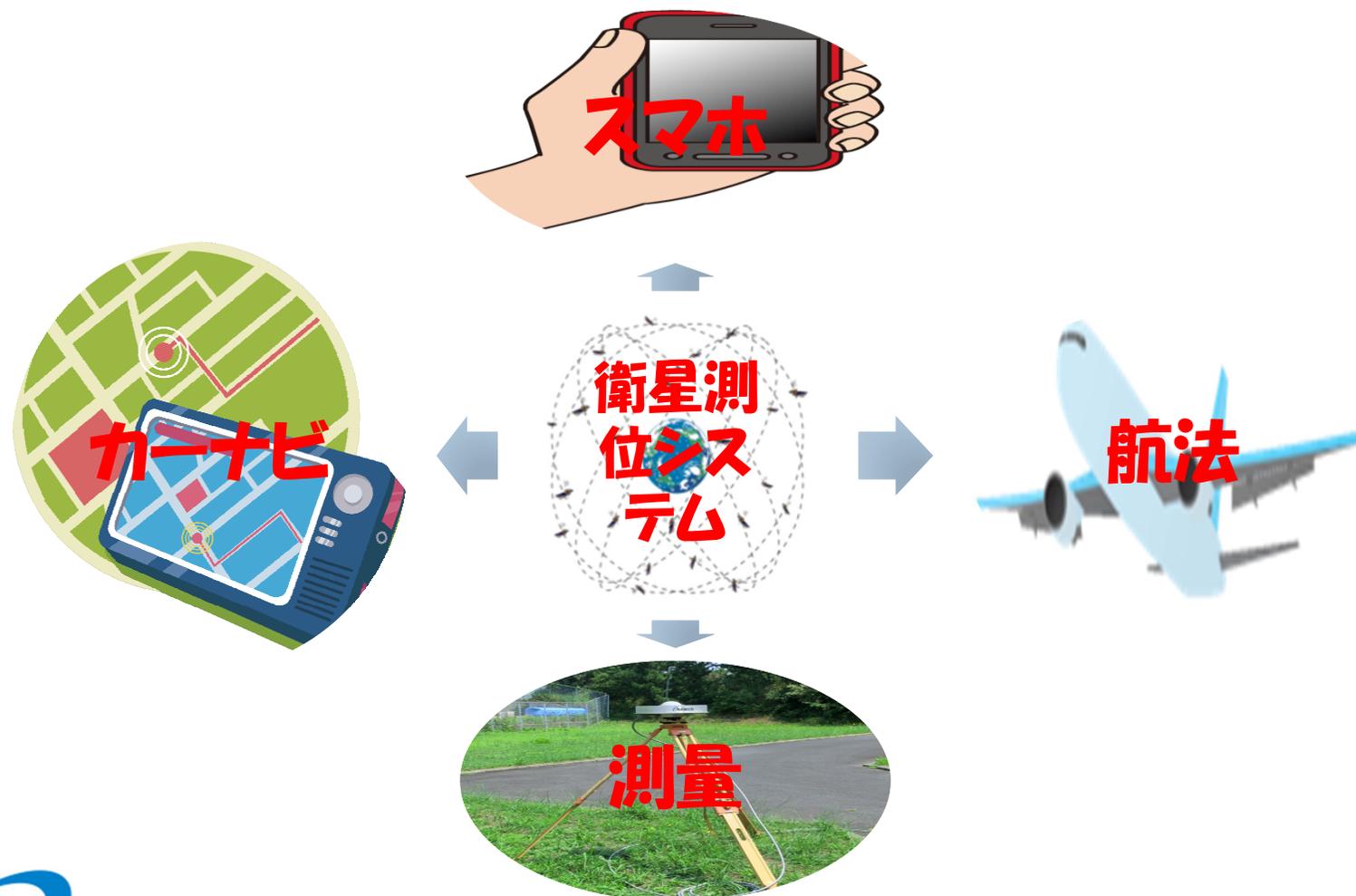


背景：衛星測位システム

- 本格的な実用化はGPSが最初
 - カーナビ、船舶、測量、及び時刻供給等
- 現在は複数のシステムが存在
 - GNSS(Global Navigation Satellite System)と総称
 - GPS(米国)
 - GLONASS(ロシア)
 - GALILEO(欧州)
 - 北斗/BeiDou/コンパス(中国)
 - **QZSS(日本)**



衛星測位システムの利用は近年急速な伸び



準天頂衛星システム計画

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

(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))

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)

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
H22~ 実証・結果の評価

事業化判断

文部科学省
準天頂高精度測位実験技術

総務省
時刻管理技術

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

利用実証
への参加

民間
(財)衛星測位利用
推進センター

関係府省庁

システムの整備・運用 JAXA

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

実用準天頂衛星システム事業の推進の基本的な考え方 (H23.9.30 宇宙開発戦略本部・閣議決定) 抜粋

諸外国が測位衛星システムの整備を進めていることを踏まえ、我が国として、実用準天頂衛星システムの整備に可及的速やかに取り組むこととする。具体的には、**2010年代後半を目途にまずは4機体制を整備**する。将来的には、持続測位が可能となる7機体制を目指すこととする。

準天頂衛星システムの研究開発の有効性・必要性が著しく高まっている。

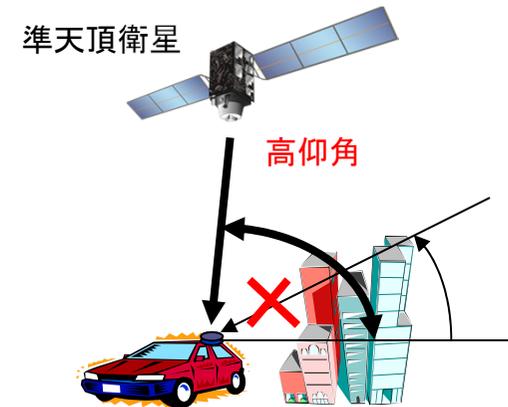
研究開発4省の技術実証の概要

技術実証項目

①「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実証実験 —



②「GPS補強」

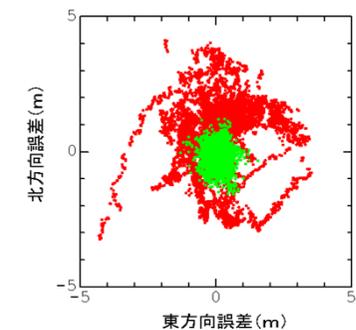
基準点で受信したGPS信号の誤差情報やGPS信号の使用可否情報等を送信して、測位の精度の高精度化や高信頼性化を図る。

- ◆ 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 —
- ◆ 国土交通省
国土地理院(GSI)
— LEX信号を用いた高精度測位補正の技術実証実験 —

③「次世代基盤技術修得」

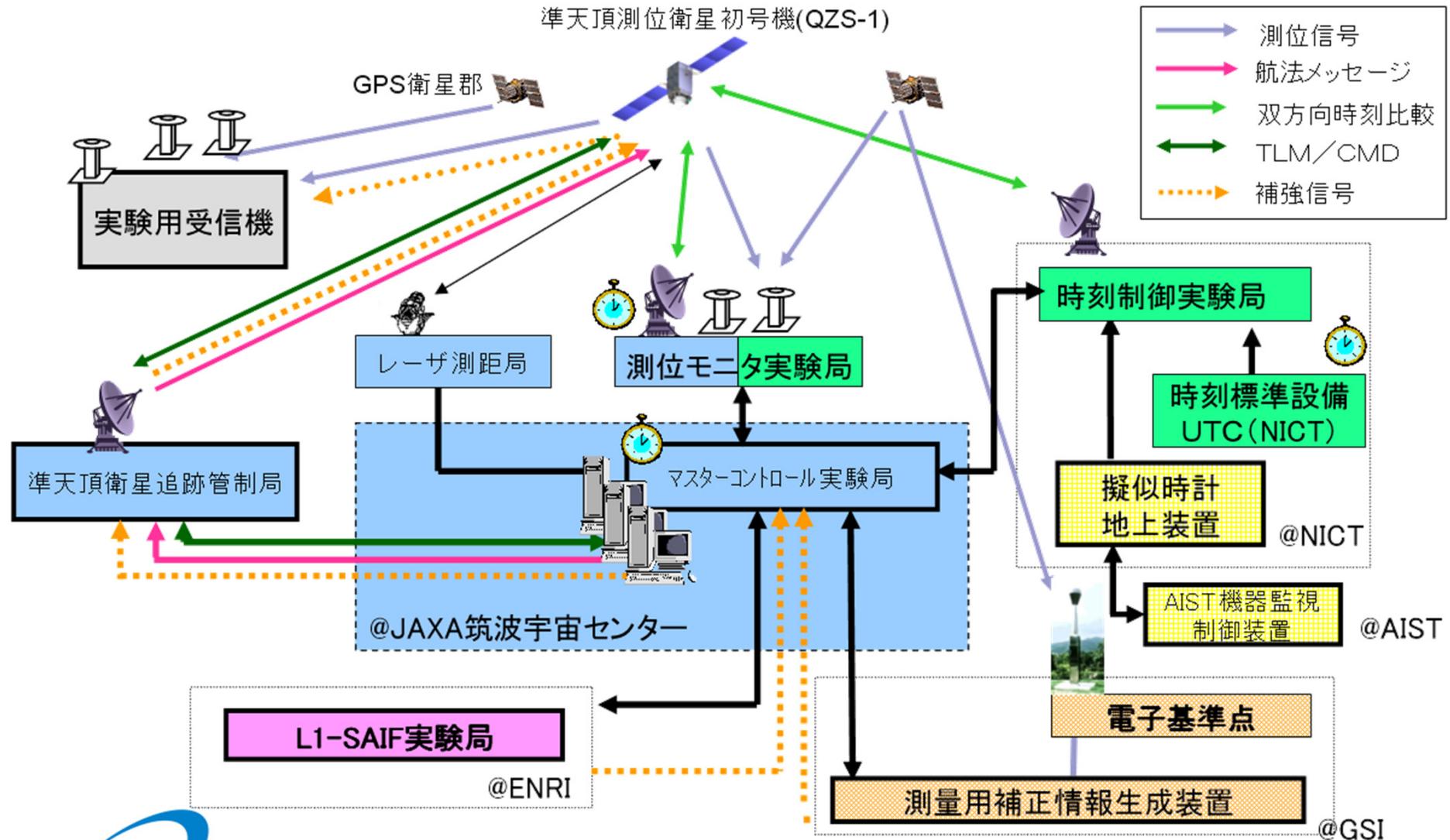
実験用信号(LEX)による衛星測位実験や擬似時計技術の研究開発及び軌道上実験を行う。

- ◆ 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 —
- ◆ 経済産業省
(独)産業技術総合研究所(AIST)
— 測位用擬似時計技術の開発・実証 —



● GPSのみ
● GPS+補強信号
(ENRI公開資料より)

準天頂衛星システムの構成



JAXA

NICT

AIST

ENRI

GSI

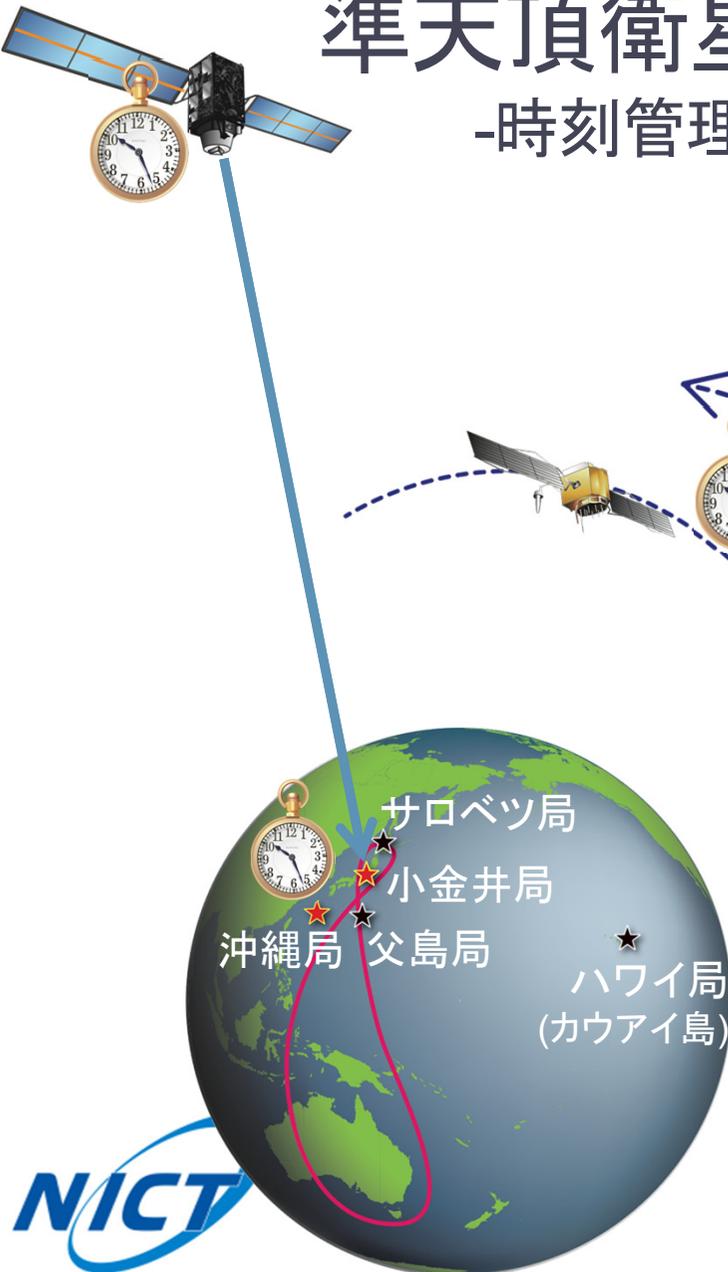
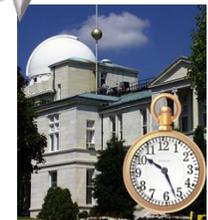
準天頂衛星システムの研究開発

-時刻管理系の研究開発のイメージ-

正確な衛星測位を実現するためには

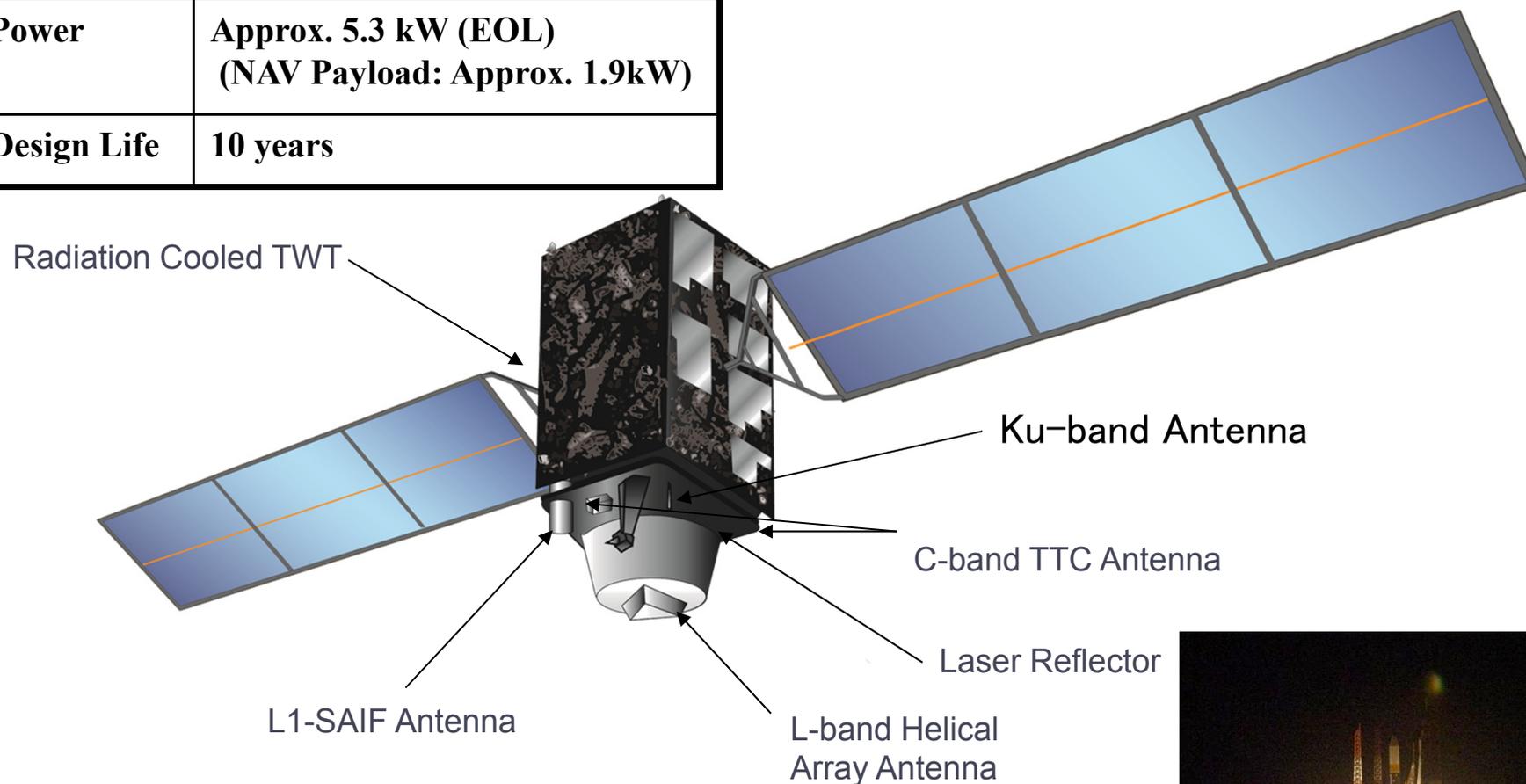
- ✓ 異なる各種時刻系間での時刻差の高精度モニター
- ✓ 衛星搭載原子時計の精密モニターが不可欠

GPS時系の基準である
米国海軍天文台の
UTC(USNO)と比較



準天頂衛星初号機の概要

| | |
|--------------------|---|
| Mass | Approx. 1,800kg (dry) (NAV Payload: Approx. 320kg) |
| Power | Approx. 5.3 kW (EOL) (NAV Payload: Approx. 1.9kW) |
| Design Life | 10 years |



Satellite Configuration on Orbit



研究開発課題と成果

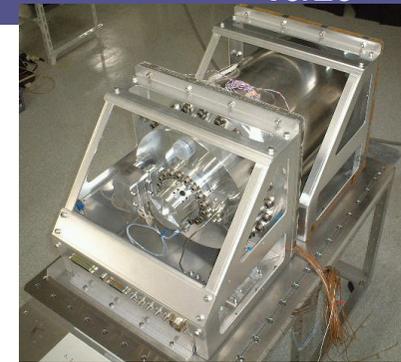
- 水素メーザの研究開発
- 時刻管理系の研究開発
 - 衛星打ち上げ前
 - 搭載機器開発
 - 地上系整備
 - 衛星打ち上げ後
 - 実証実験(後述)



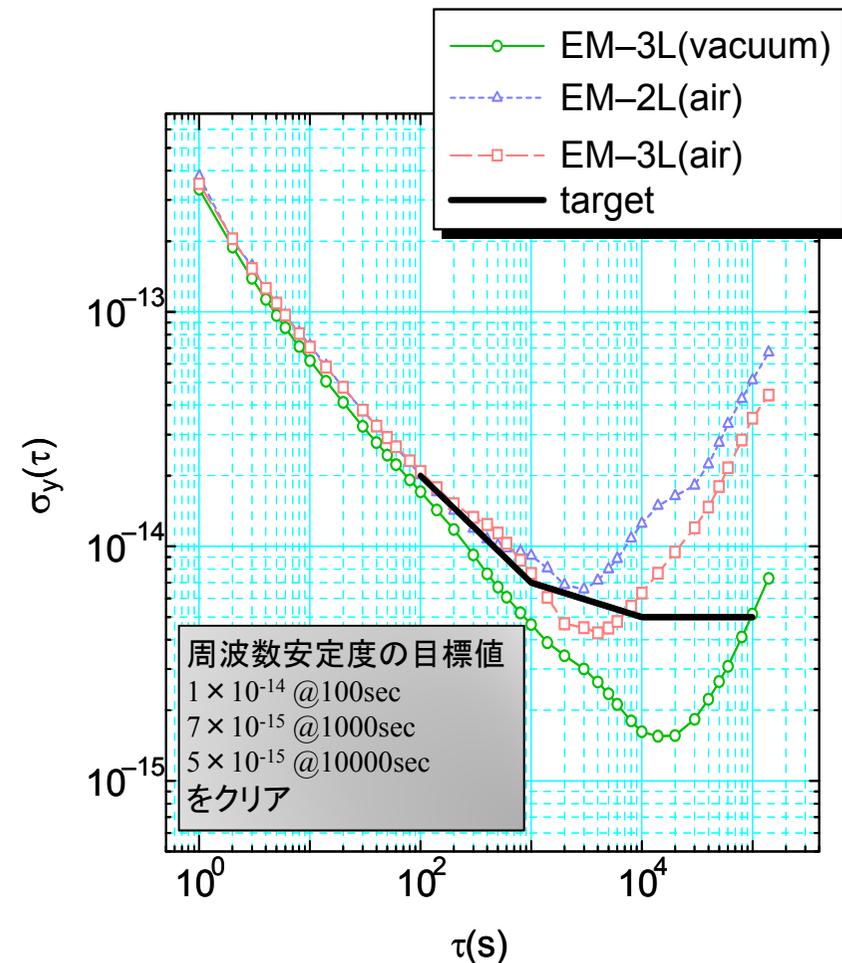
水素メーザの研究開発

- 水素メーザ開発は、次世代の測位衛星技術の開発においても不可欠→将来の我が国の衛星測位技術確立に寄与

- 平成18年度に宇宙環境・衛星打ち上げ環境等を模擬した熱真空試験、振動試験、放射線試験等をEMに対して実施し、所定の性能を有すること確認
- 本研究開発で培った小型軽量化等の技術を活かし、地上で使用可能な小型可搬な水素メーザ周波数標準器を製作

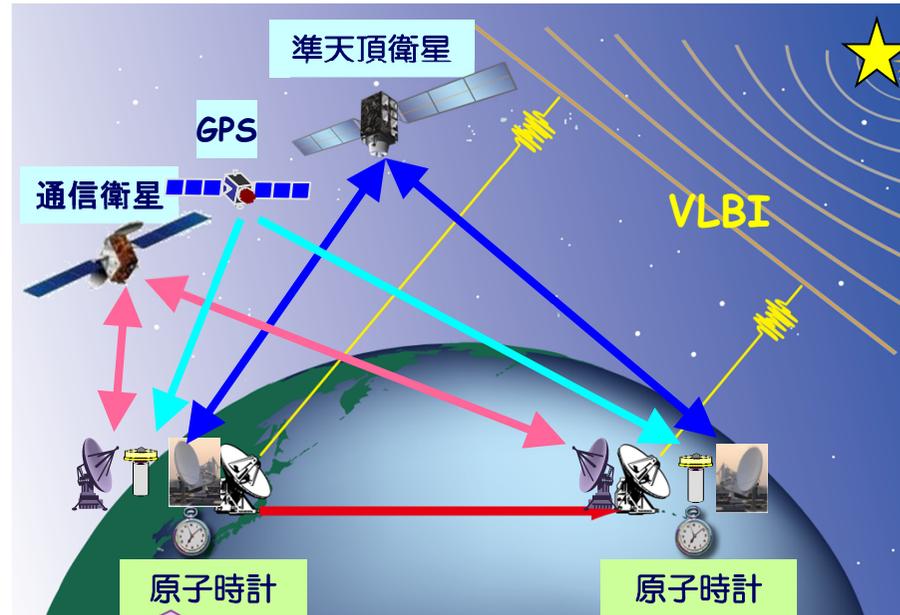


ブレードモードモデル(BBM)の量子部



水素メーザ研究開発に付随する成果

- 地上使用可能な小型可搬型水素メーザ装置の活用
 - 情報通信研究機構(NICT)プロジェクトにおいて、電波望遠鏡を用いた周波数比較実験(VLBI周波数比較)や高精度測地実験で有効活用し性能を確認
 - 同様の手法で観測を行う国立天文台等での科学研究や産業用の超高安定な小型可搬周波数標準器として有効



この周波数標準として有効性確認

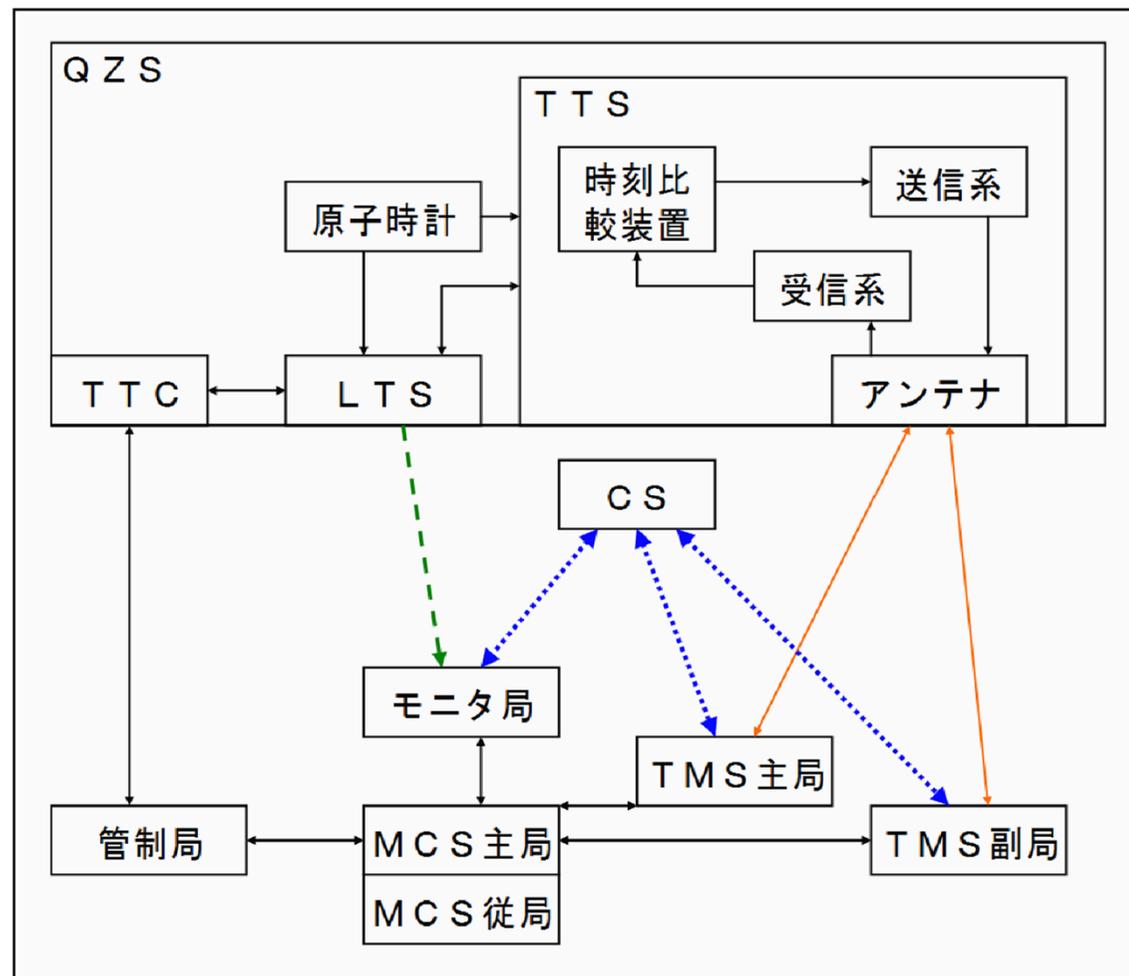
温度環境 ± 1 度程度のラフな環境でもミリ精度の測地実験やnsecオーダーの時刻比較実験に使用可能なほど堅牢な標準器となった

現在も実観測
で使用中

時刻管理系の研究開発

すべての時計の時刻差の把握

- QZS-1 – UTC(NICT)間
- モニタ局 – UTC(NICT)間
- TMS主局 – 副局間
- GPSの時系と UTC(NICT)の差



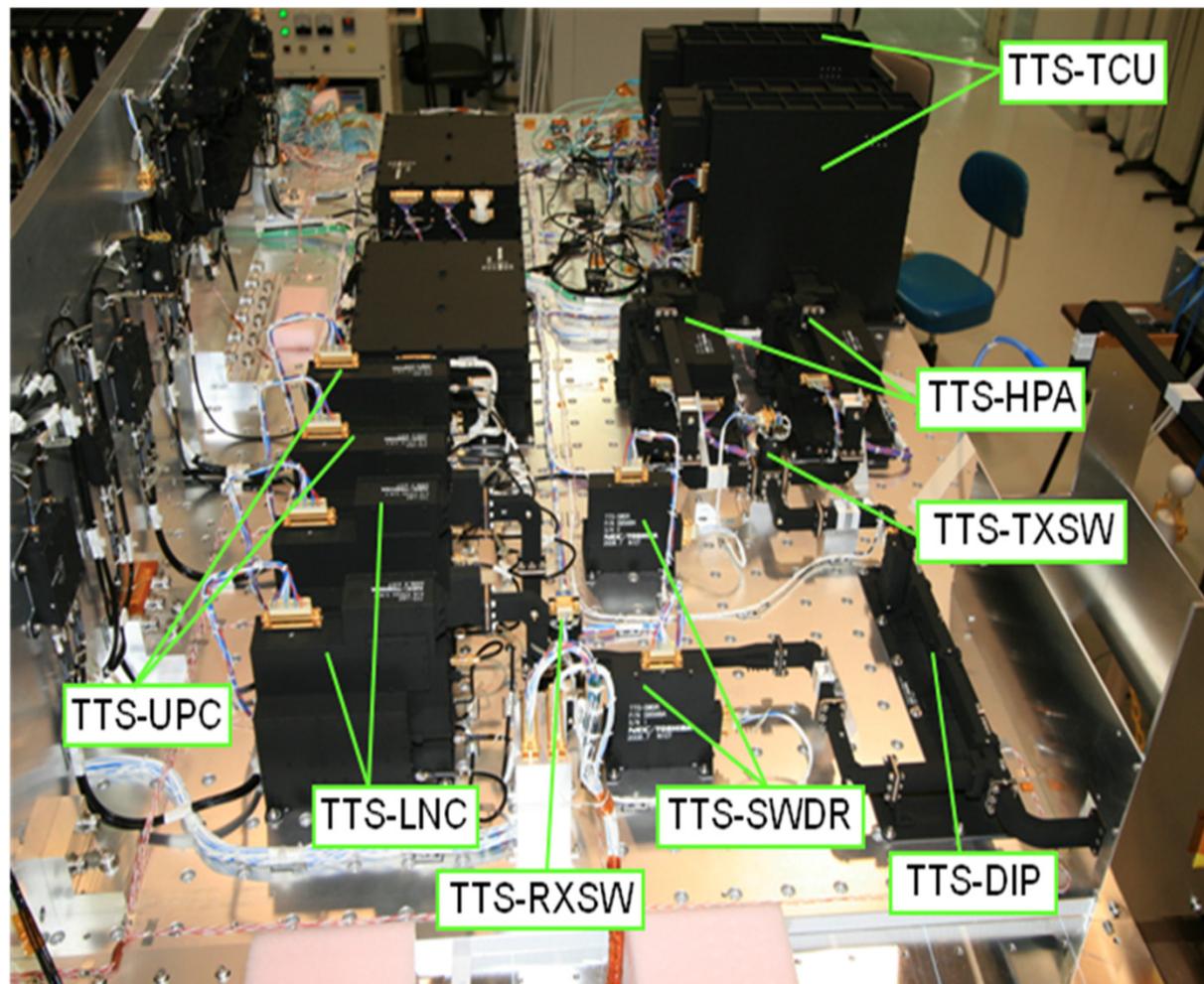
搭載機器フライト品の開発(打ち上げ前)



Ku帯アンテナ



時刻比較装置



測位ミッションPFMの試験状況



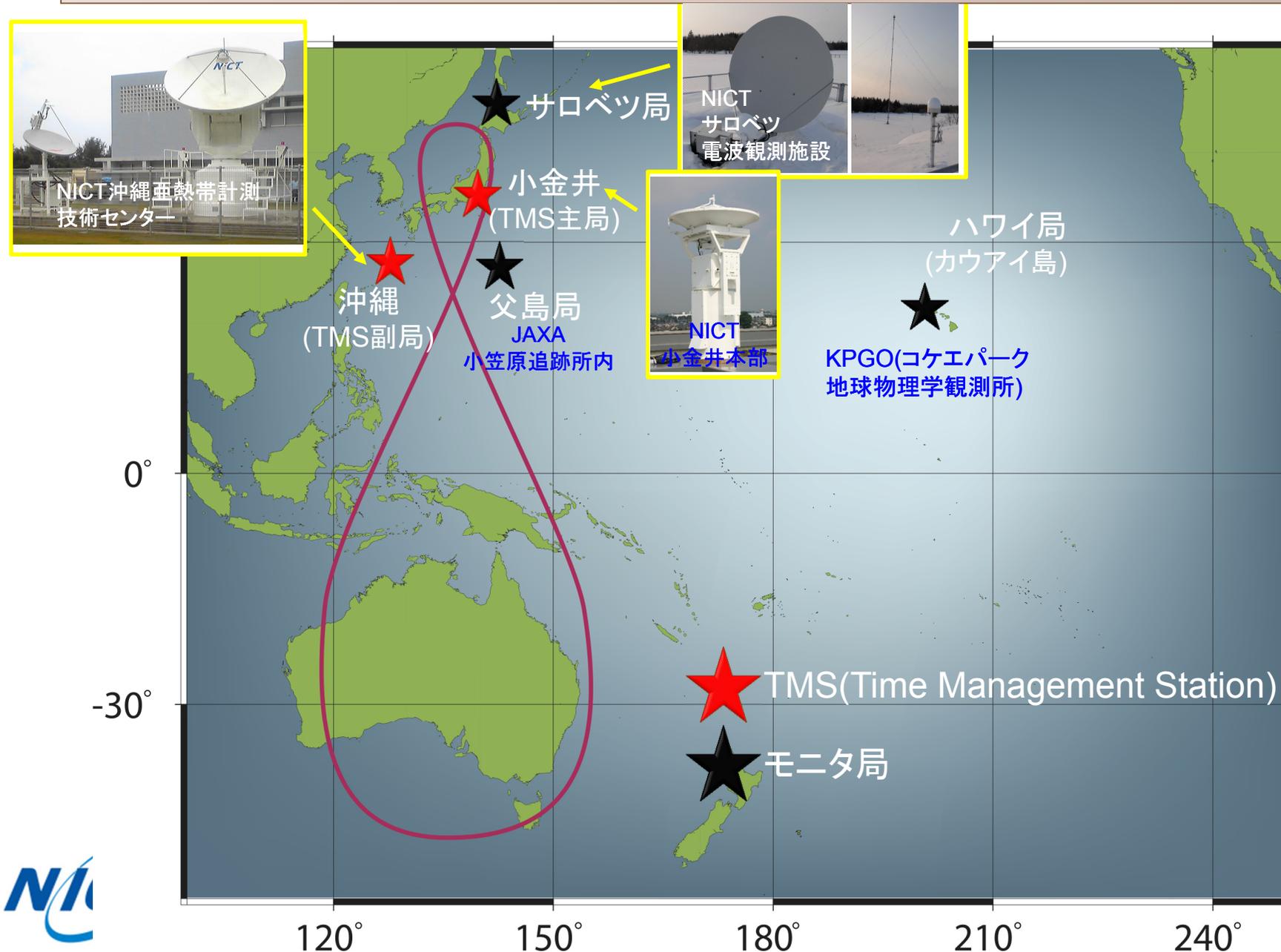
時刻管理系地上系の整備(衛星打ち上げ前)

- 時刻制御実験局(TMS) 、JAXA担当のマスター制御実験局(MCS)、及びAIST担当の擬似時計実験装置等とのインターフェースを確認する試験実施
- 国内モニタ局
 - NICTサロベツ電離層観測施設、父島JAXA小笠原追跡所への機器整備・装置設置
- 海外モニタ局
 - 米国ハワイ諸島カウアイ島のコケエパーク地球物理観測所(KPGO)に衛星双方向時刻比較用アンテナや装置の設置作業を実施

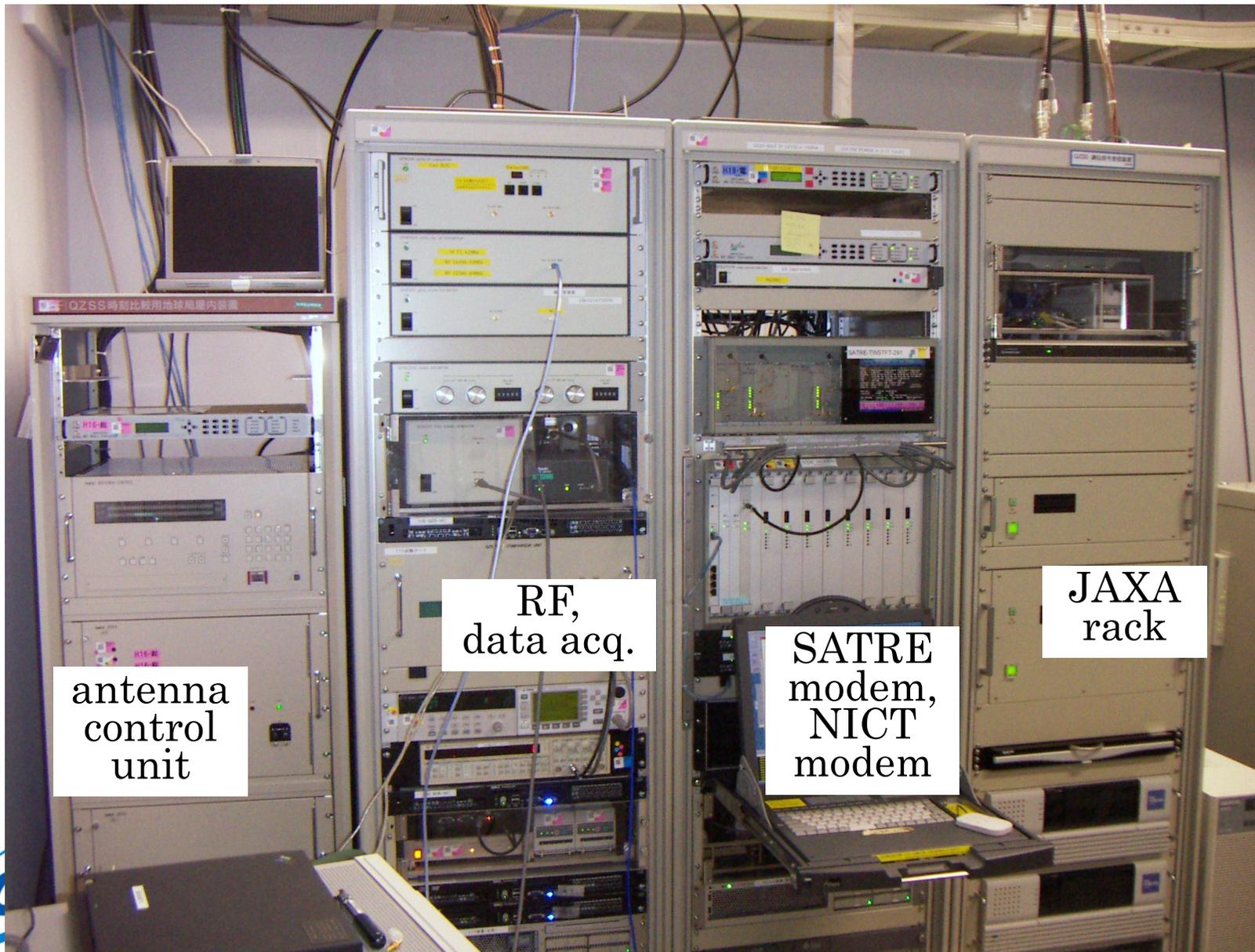


TMS小金井局アンテナ

時刻管理系の地上系実験局配置



設置された実験機器(TMS小金井)



時刻管理系実証実験の主な成果等 (衛星打ち上げ後)

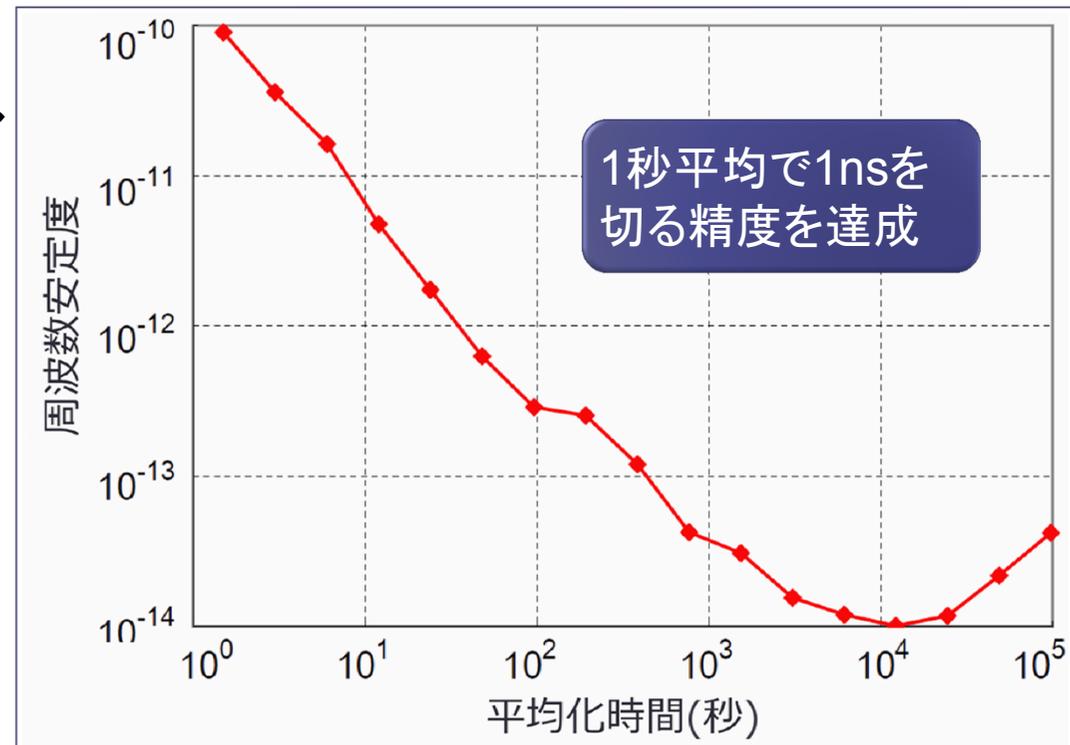
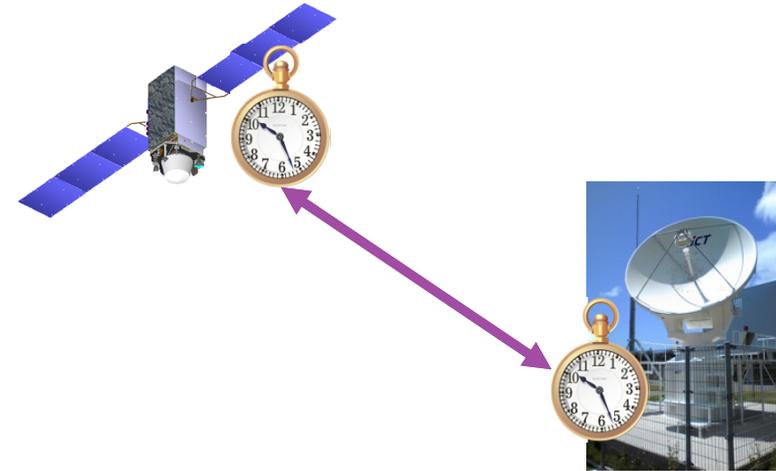
• 技術実証実験

- 衛星搭載時計時刻比較実験 (SV比較)
- オンボード計測実験
- 地上間時刻比較実験
 - CS (静止通信衛星)
 - QZS-1 ベントパイプ
- GQTO 比較実験



衛星搭載時計時刻比較実験 (SV比較)

- QZS-1 の基準信号と UTC(NICT)間の衛星-地上間時刻比較
- JAXAにおいて高精度測位で使用
- 双方向時刻比較法を用い、高精度時刻比較を実施

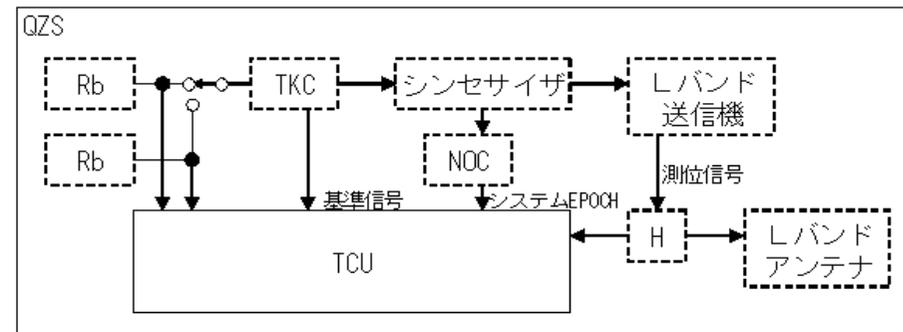


衛星双方向技術を利用した
高精度な非静止衛星・地上
間の時刻・周波数比較技術
は世界初

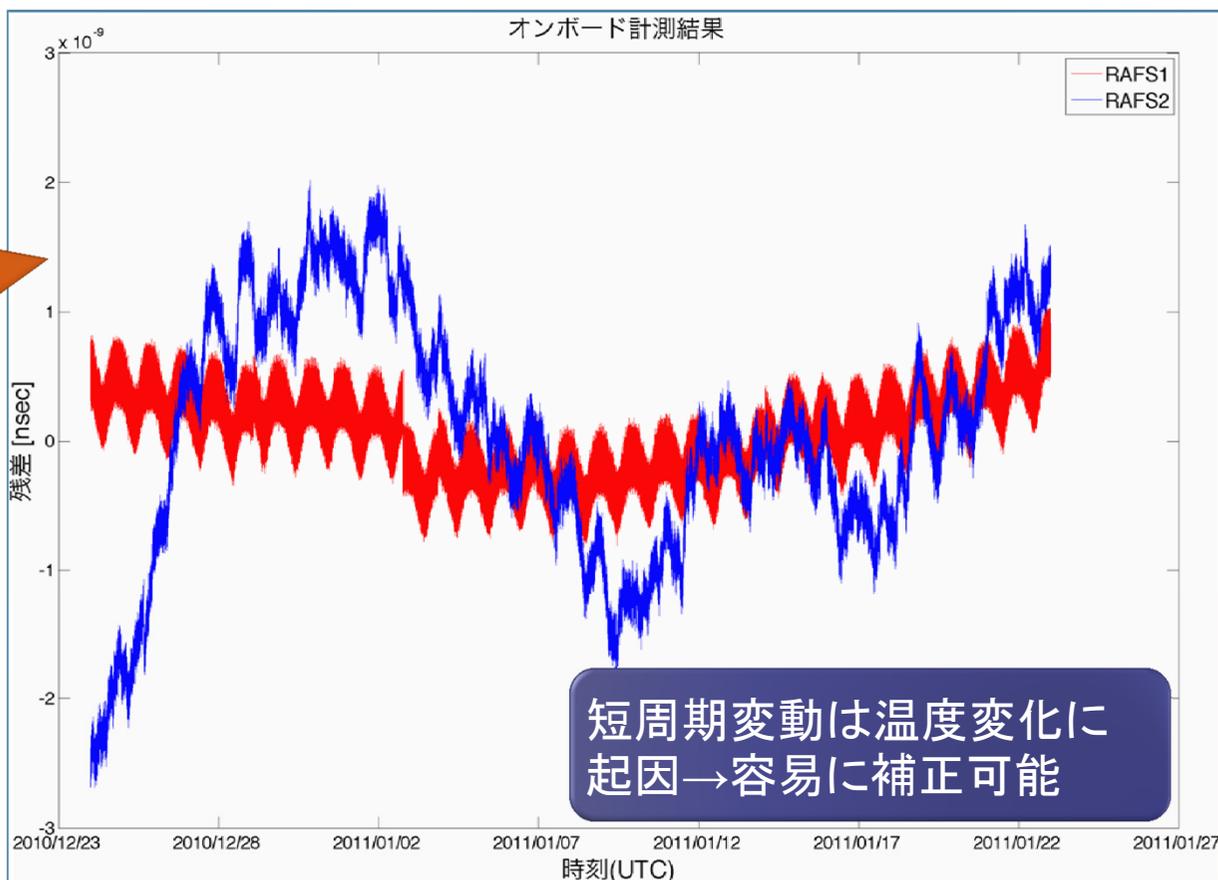


オンボード計測実験

- 衛星上でQZS-1の基準信号と、搭載された2台のRb原子時計の遅延時間を計測
- Rb時計の正常性、特性の把握が目的

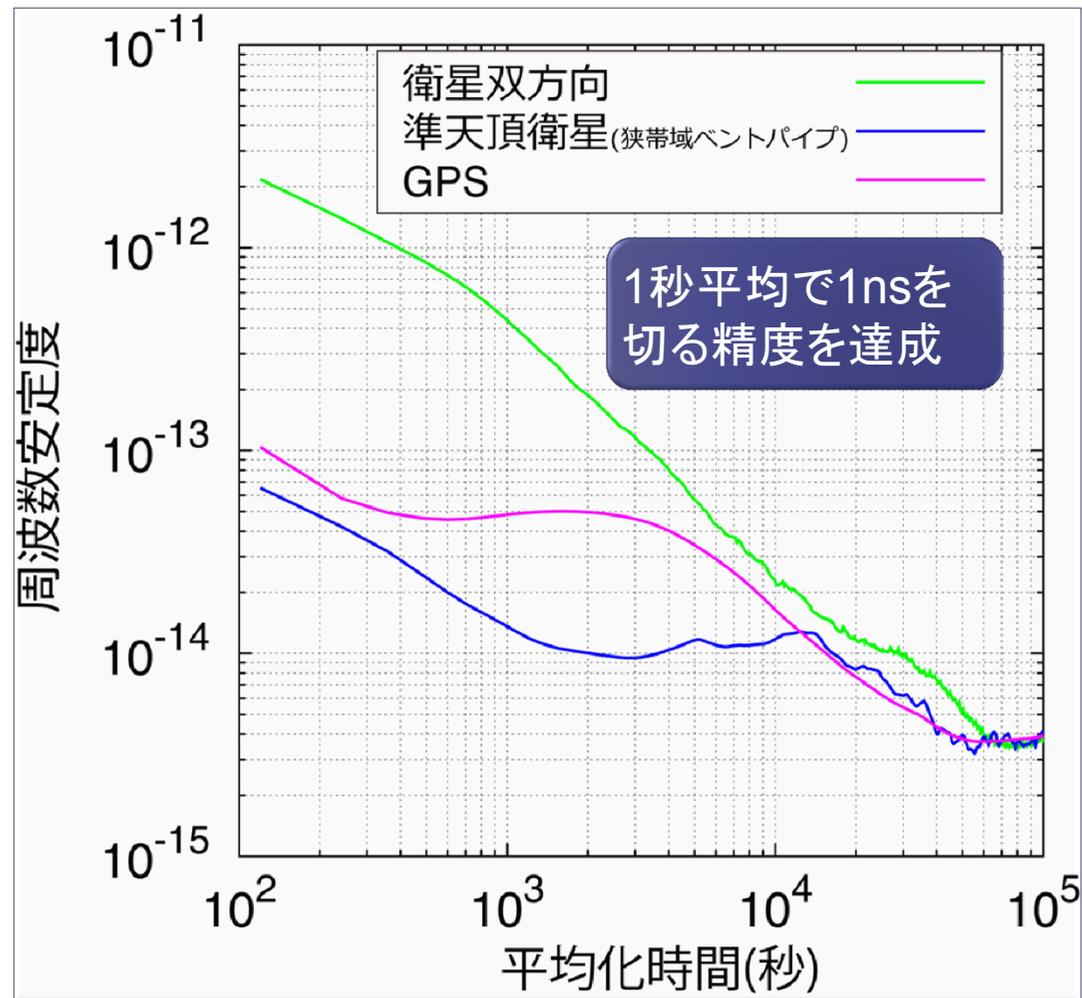
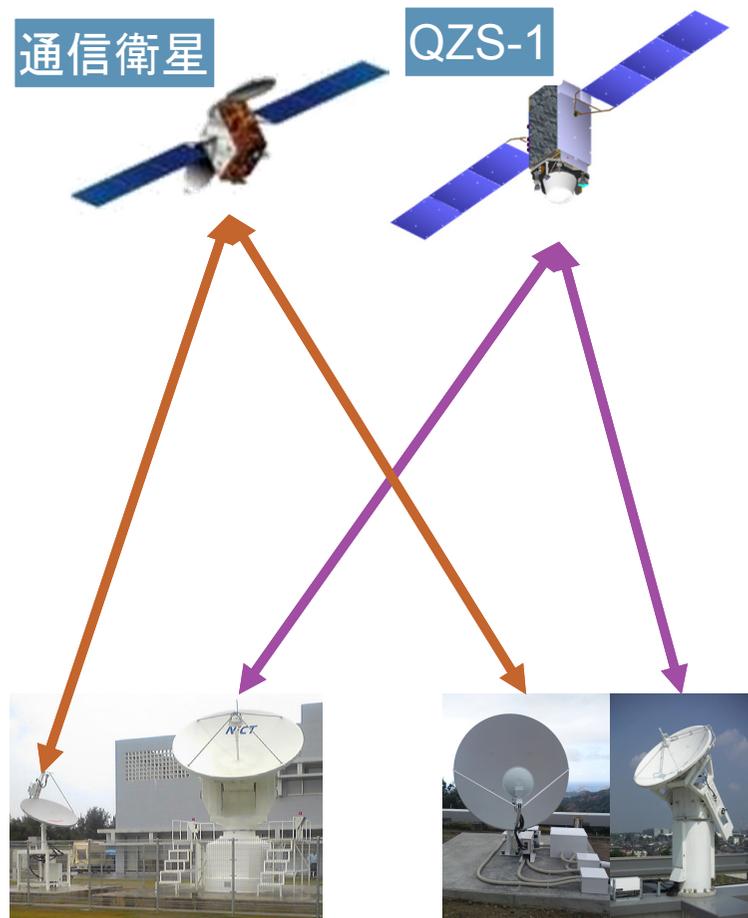


右の期間では
RAFS(Rubidium
Atomic Frequency
Standard)1号機
(RAFS1)を衛星の基
準時計として使用
→RAFS1の変動は
1nsec以下に抑えら
れている



地上-地上間時刻比較の成果

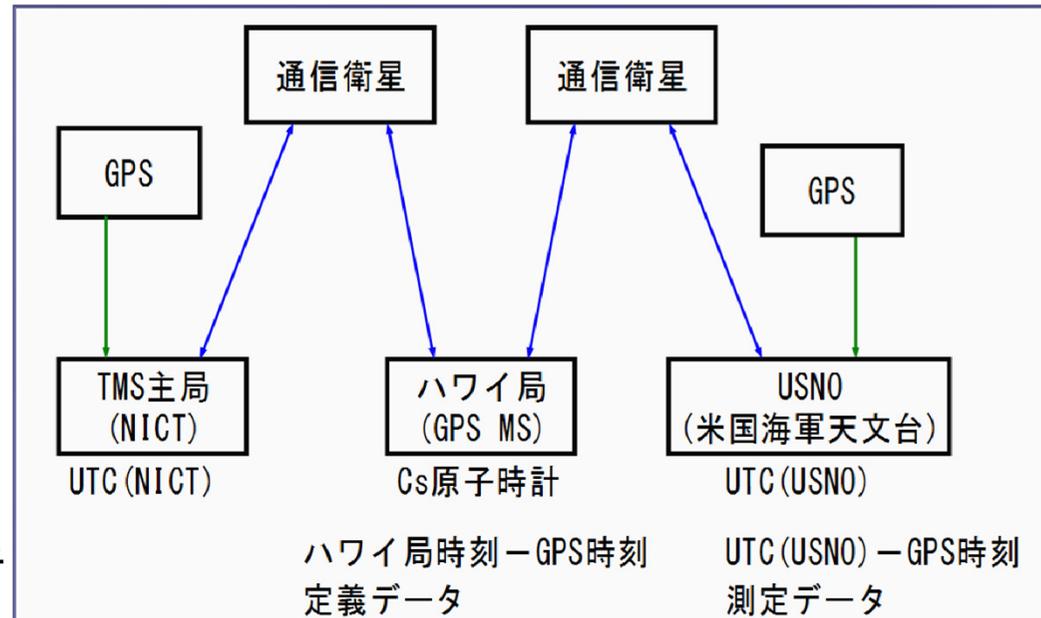
(TMS副局@沖縄—TMS主局@小金井)



衛星双方向技術を利用した高精度な地上-地上間の時刻・周波数比較技術は世界初

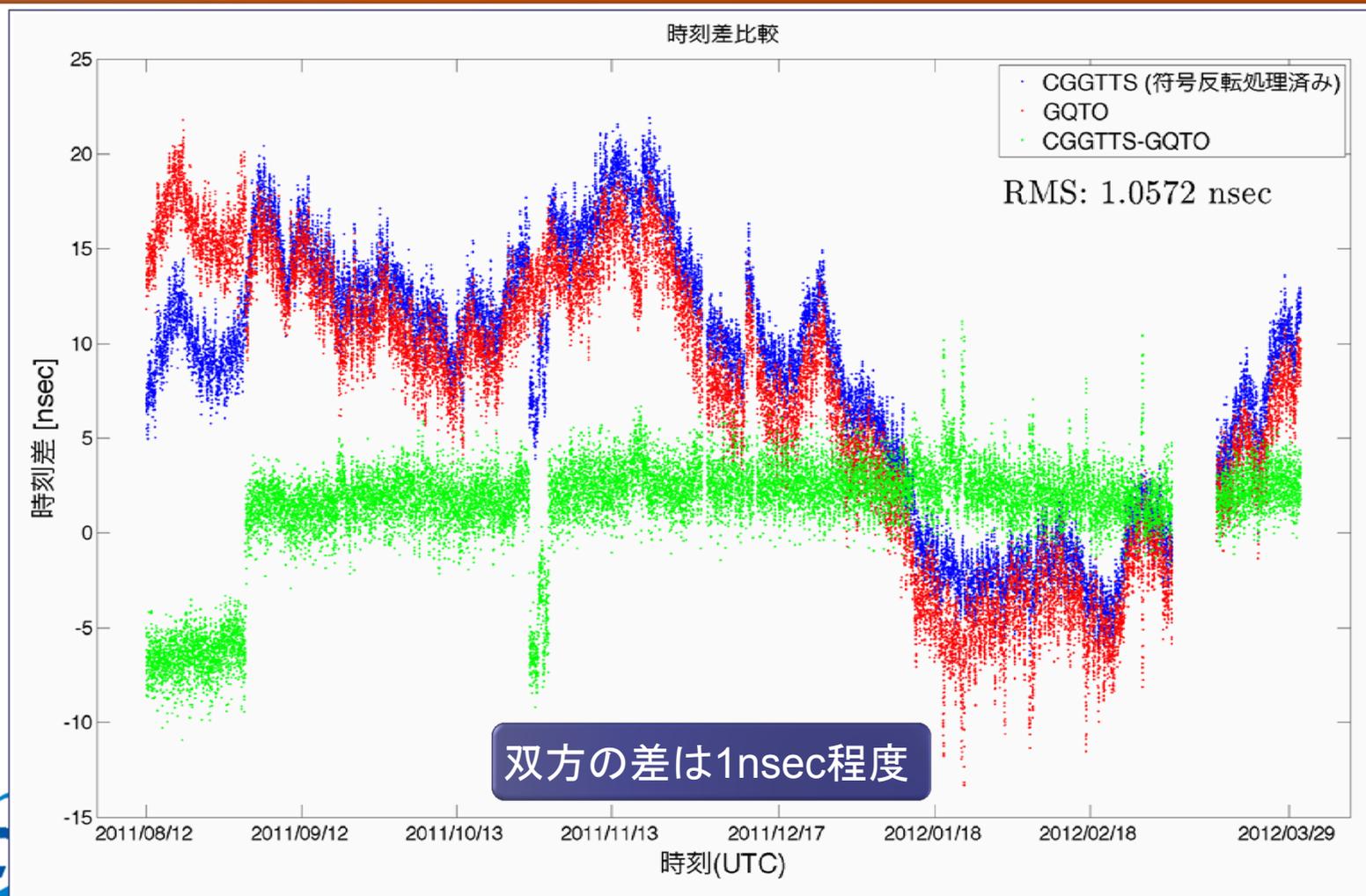
GQTO比較実験

- GPS-TimeとUTC(NICT)の差をモニター
- 得られた時刻差をMCS@jaxaに伝送
- MCSでは、航法メッセージのUTC項生成に使用
- 算出方法
 - UTC(NICT)を基準にGPS衛星からの信号を受信
 - GPS Timeを計測しているUSNO(米国海軍天文台)のUTC(USNO)と時刻比較を行い
 - UTC(USNO) – GPS Timeのデータから計算



GQTO比較実験-続き-

TMS主局で計測したGQTO(UTC(NICT) - GPS Time)の一例と、NICTがBIPM(国際度量衡局@パリ)に報告しているGPS受信結果(CGGTTS)との比較



まとめ

- 重要性が著しく高まっている準天頂衛星システムのうち、時刻管理系の研究開発を推進
- 滞り無く搭載機器の開発及び地上系の整備を実施し、宇宙空間での実証実験を実施
- 周波数安定度及び時刻精度の当初目標を上回る成果を得た