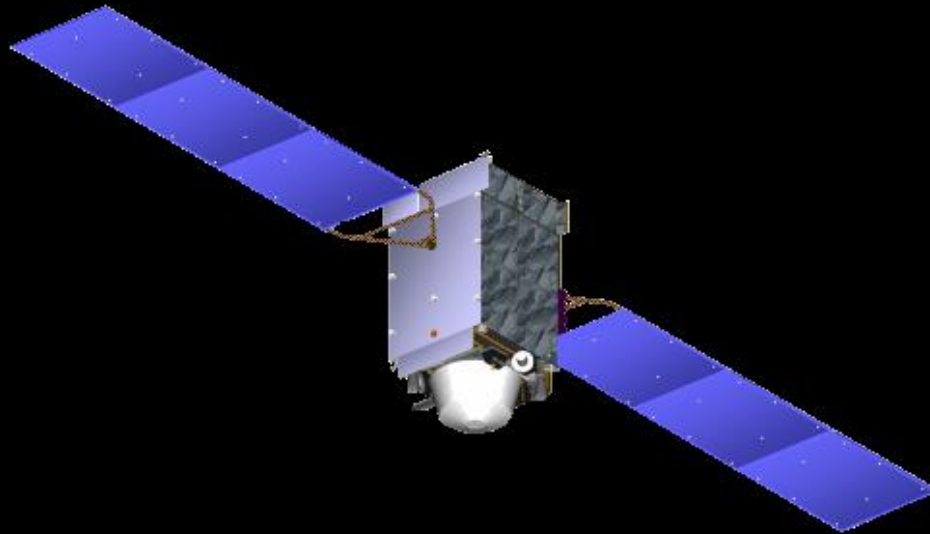


11. 準天頂衛星L1-SAIF補強信号の レンジング機能



航法システム領域
坂井 丈泰、山田 英輝、伊藤 憲

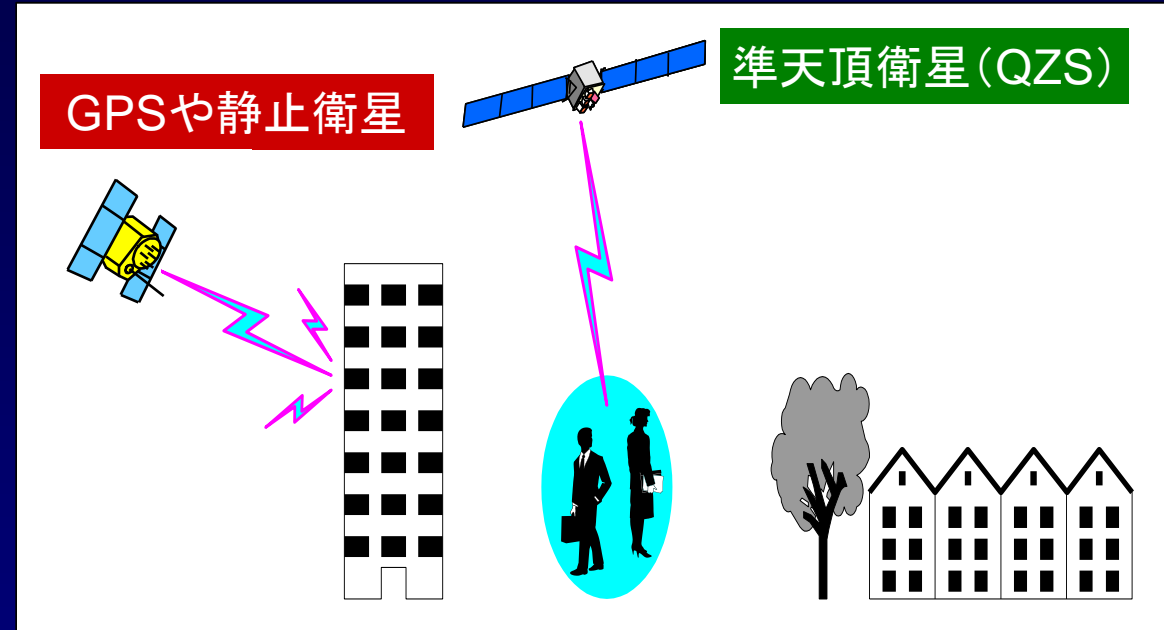
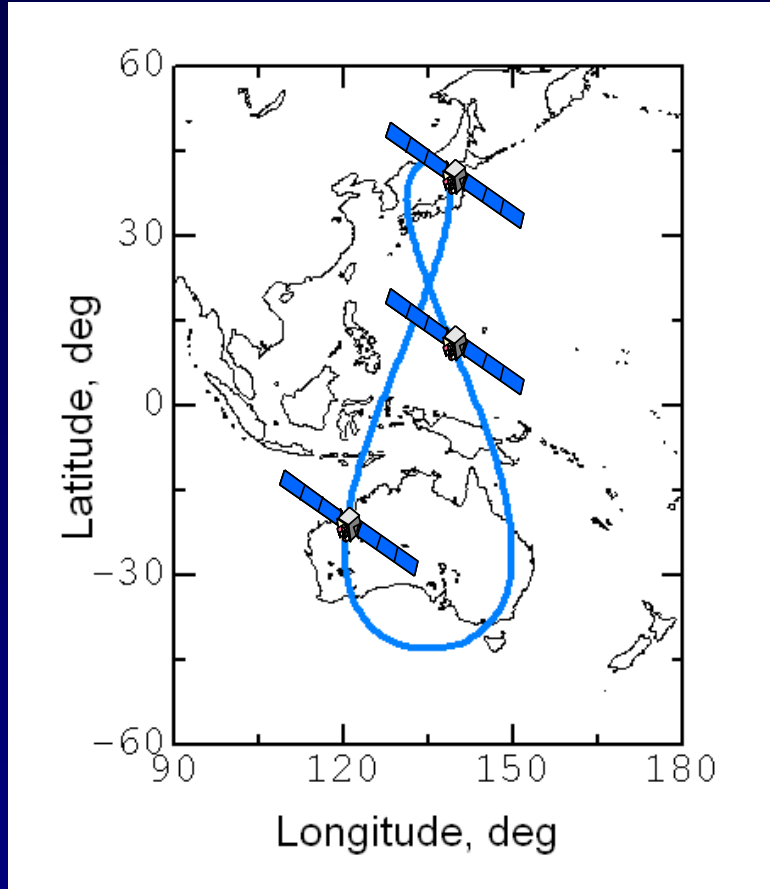
はじめに

- **準天頂衛星システム(QZSS) :**
 - 準天頂衛星軌道上の測位衛星による衛星測位サービス。
 - GPS補完信号に加え、補強信号を放送。補強信号:L1-SAIF、LEXの2種類。
 - 初号機「みちびき」を2010年9月に打ち上げ、技術実証実験を実施中。
 - 実用準天頂衛星システムの開発を閣議決定。2020年までに4機体制とする。
- **L1-SAIF補強信号 :**
 - サブメータ級の測位精度を提供する補強信号。
 - GPS L1 C/A信号と同一の周波数・変調方式:受信機ハードウェアは変更不要。
 - 機能:(1)測位精度改善、(2)インテグリティ情報の提供、(3)レンジング。
(1)(2)についてはすでに確認。今回は(3)について評価結果を報告。
- **内容 :** (1) 準天頂衛星システム (3) 技術実証実験
(2) L1-SAIF信号の概要 (4) L1-SAIFによるレンジング性能

(1)

準天頂衛星システム

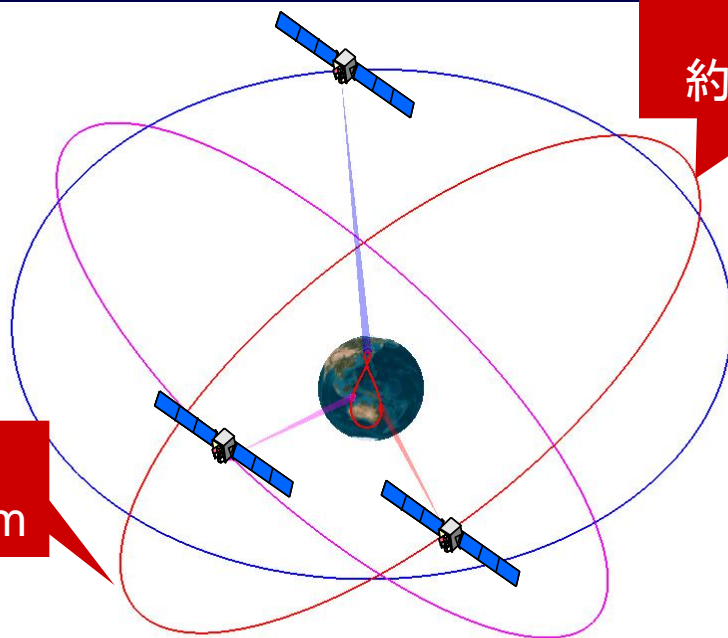
準天頂衛星の構想



- 東経135度を中心に配置
- 初号機「みちびき」:
離心率0.075、軌道傾斜角43度

- 高仰角からサービスを提供可能。
- 山間部や都市部における測位・放送ミッションに有利。
- 高仰角から放送する情報により、GPS衛星の捕捉を支援できる。

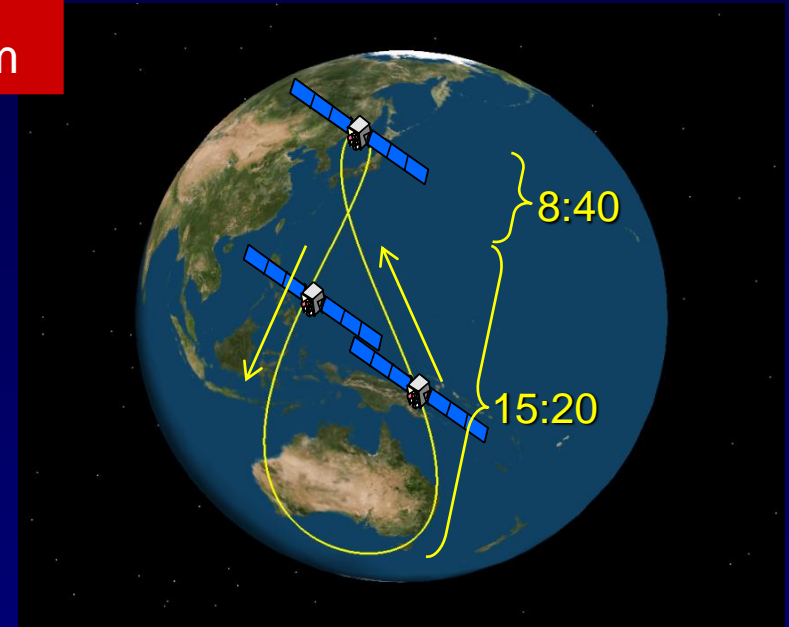
準天頂衛星の軌道



近地点
約32,000km

遠地点
約40,000km

準天頂衛星の軌道面(3衛星の場合)

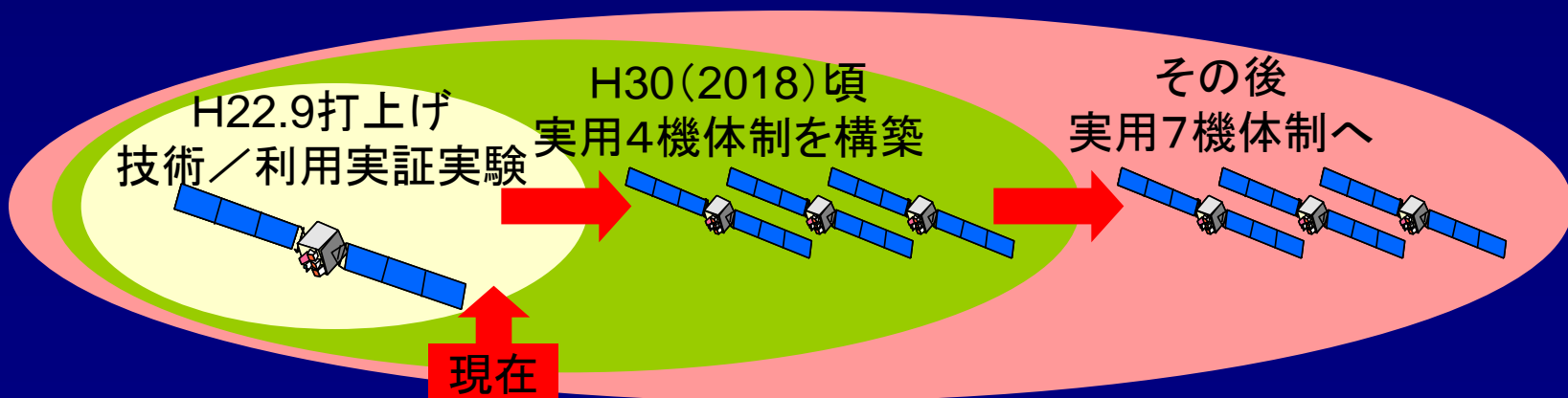


地上軌跡

- 軌道長半径(42,164km)は静止衛星軌道と同じ:地球自転に同期した周回速度。
- 軌道を傾斜させることで地上軌跡が8の字形になる。
- 同一の地上軌跡となるように3機以上の衛星を配置:特定地域のユーザに対して、通信・航法サービスを天頂付近から常時提供できる。

実用準天頂衛星システムの開発

- 準天頂衛星システム 第1段階：
 - H15に官民合同プロジェクトとしてスタート。
 - H18.3に計画見直し:まず第1号機を打ち上げ、技術実証実験・利用実証実験を実施する。第2号機以降はその成果にもとづき検討。
 - 初号機「みちびき」は2010年9月に打上げ成功。各種実験を順調に実施中。
- 第2段階:実用準天頂衛星システムの開発：
 - H23.9.30閣議決定により、開発を決定。
 - 目的:社会インフラ整備、アジア太平洋地域に貢献、災害対応能力の向上、等。
 - 2010年代後半を目処として、4機体制を整備。将来的には7機体制を目指す。



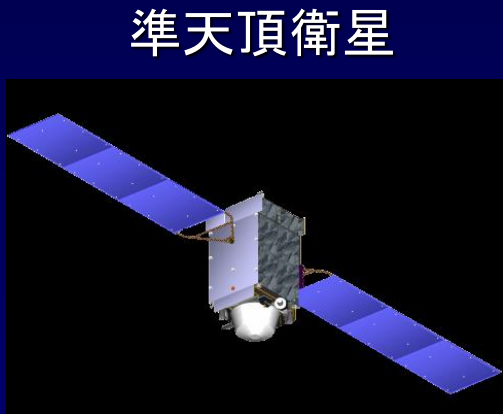
準天頂衛星の機能

- **GPS補完機能： L1C/A, L2C, L5, L1C信号**
 - GPS補完信号として、GPS信号に似た測位信号を放送。
 - 天頂付近の高仰角から測位信号を提供することで、都市部や山岳地域などで衛星数の不足を補い、いつでも位置情報が得られるようにする。
 - ユーザ側は、既存GPS受信機のソフトウェア改修程度で対応できる。
 - 宇宙航空研究開発機構(JAXA)が技術実証実験を実施。
- **GPS補強機能： L1-SAIF, LEX信号**
 - すべてのGPS衛星を対象として、ディファレンシャル補正情報等を補強信号に乗せて放送する。
 - L1-SAIF信号：移動体測位用。補強信号の国際標準SBASと同じ信号形式。
 - ユーザ側は、既存SBAS対応受信機のソフトウェア改修程度で対応できる。
 - 電子航法研究所がL1-SAIF補強信号の開発を担当。衛星打上げ後に技術実証実験を行い、現在も引き続き実験を実施中。

(2)

L1-SAIF信号の概要

L1-SAIF補強信号



補強信号
(補完機能)

補強信号
(誤差補正)

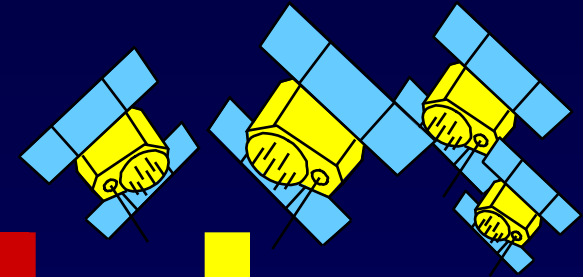
補強信号
(信頼性付与)

一つの信号で3つの機能

①補完機能

②誤差補正機能

③信頼性付与機能



GPS衛星群

測位信号

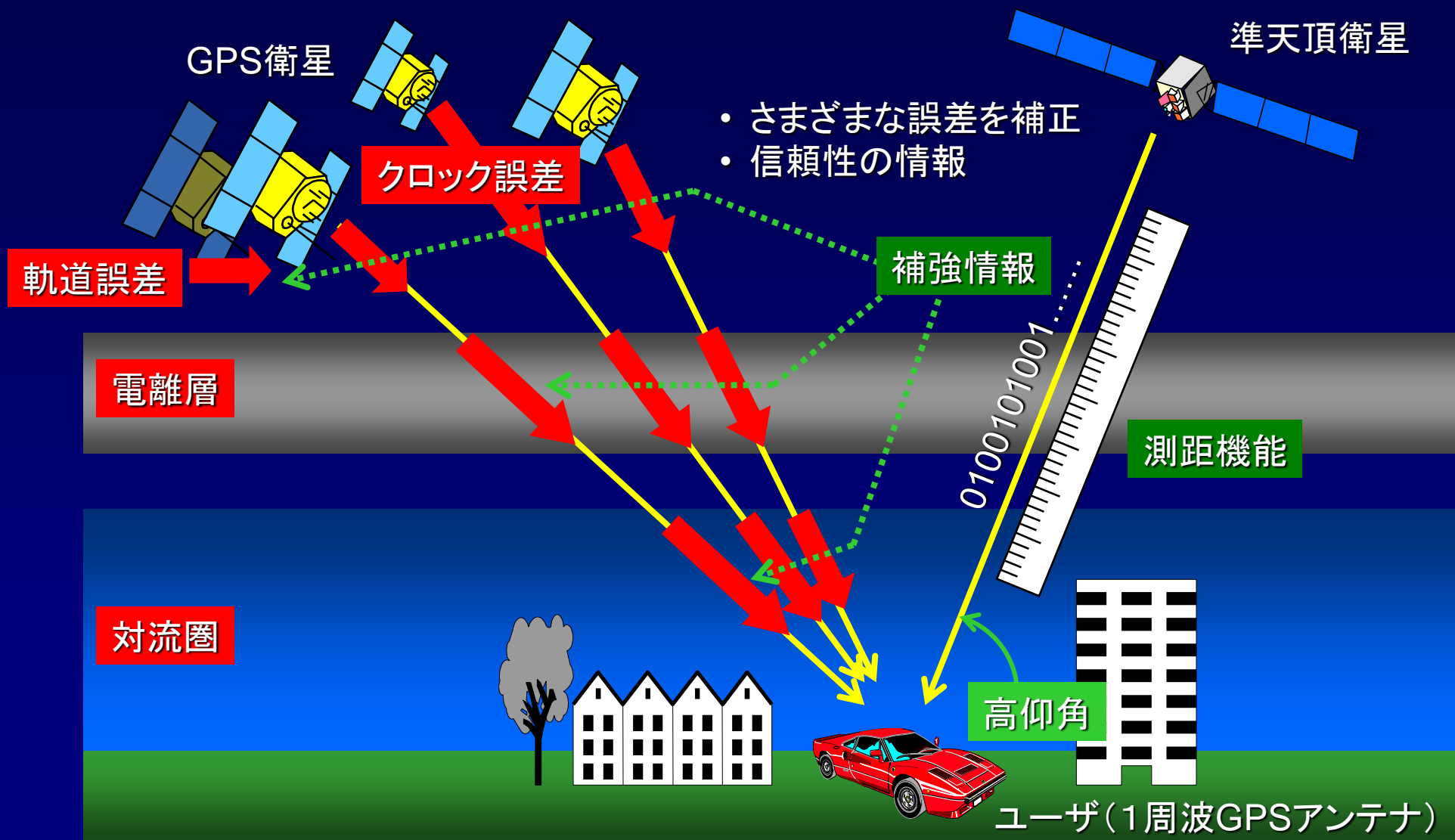
- 一つの補強信号で3つの機能: 補完機能(レンジング)・誤差補正(目標精度=1m)・信頼性付与。
- ユーザ側では、1つのGPSアンテナによりGPSとL1-SAIFの両信号を受信: 受信機の負担軽減。



ユーザ
(GPS受信機)

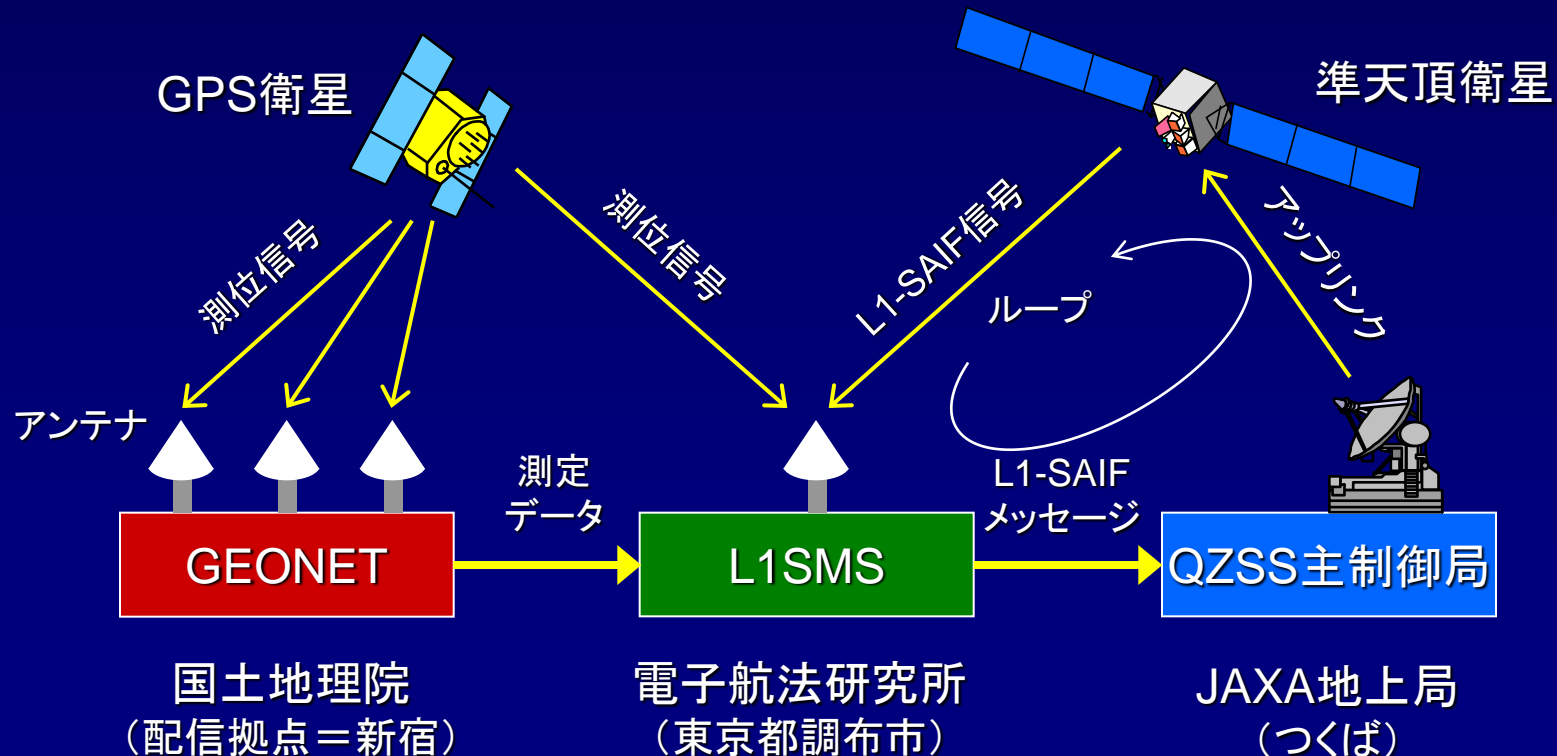
SAIF: Submeter Augmentation with Integrity Function

サブメータ級補強の仕組み

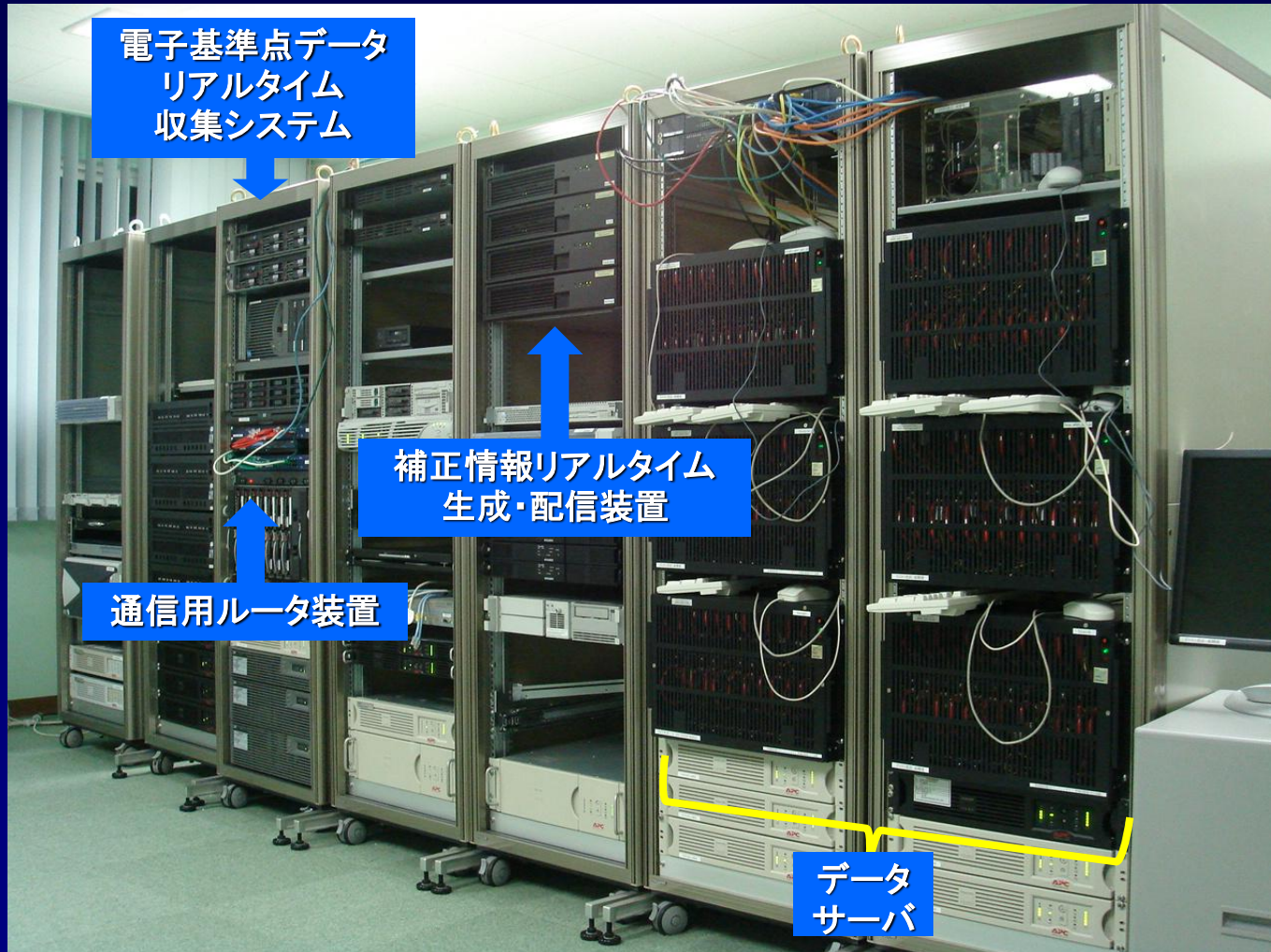


L1-SAIF実験局(L1SMS)

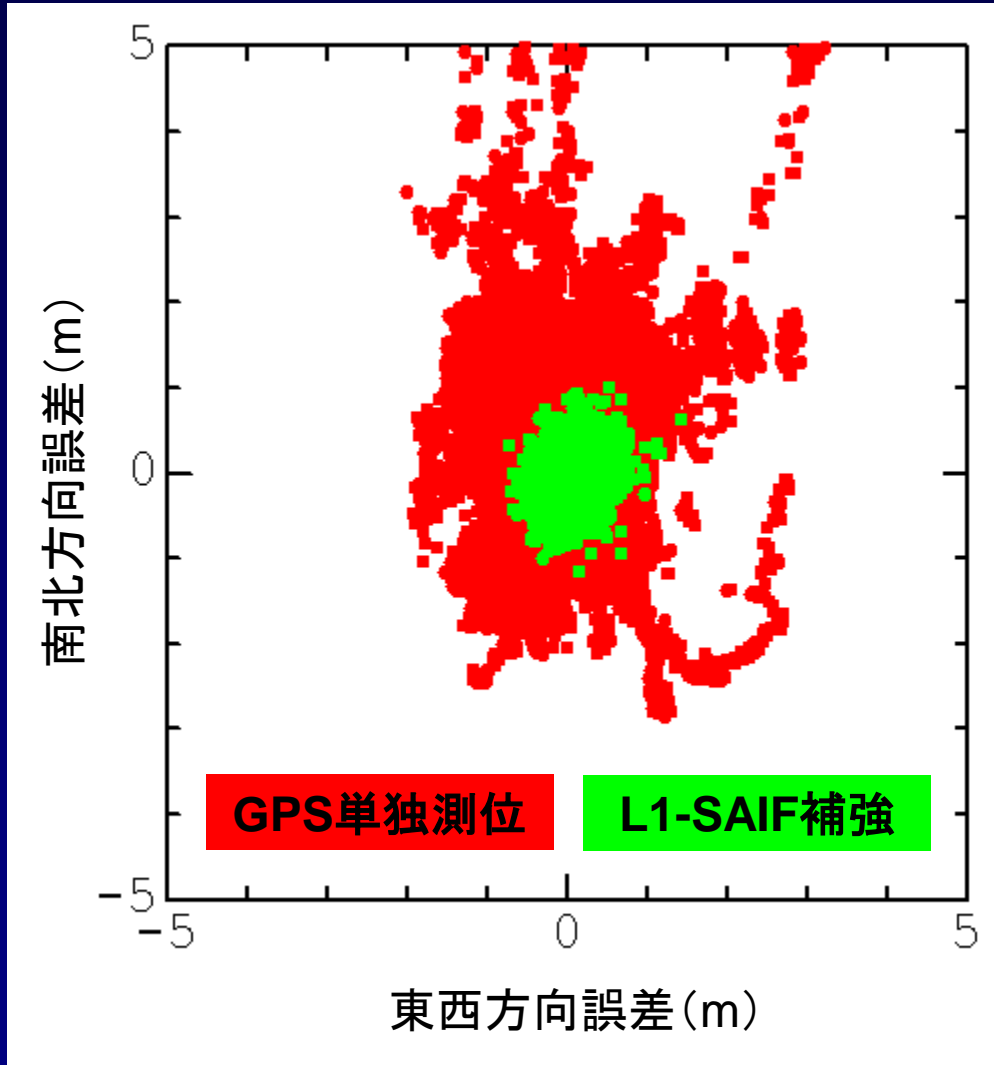
- L1-SAIF実験局(L1SMS:L1-SAIF Master Station):
 - L1-SAIF補強メッセージをリアルタイムに生成し、JAXA地上局(つくば)に送信する。
 - 電子航法研究所構内(東京都調布市)に設置。
 - 補強メッセージの生成に使うGPS測定データについては、国土地理院電子基準点ネットワーク(GEONET)から取得する。



L1-SAIF実験局の外観



リアルタイム動作試験



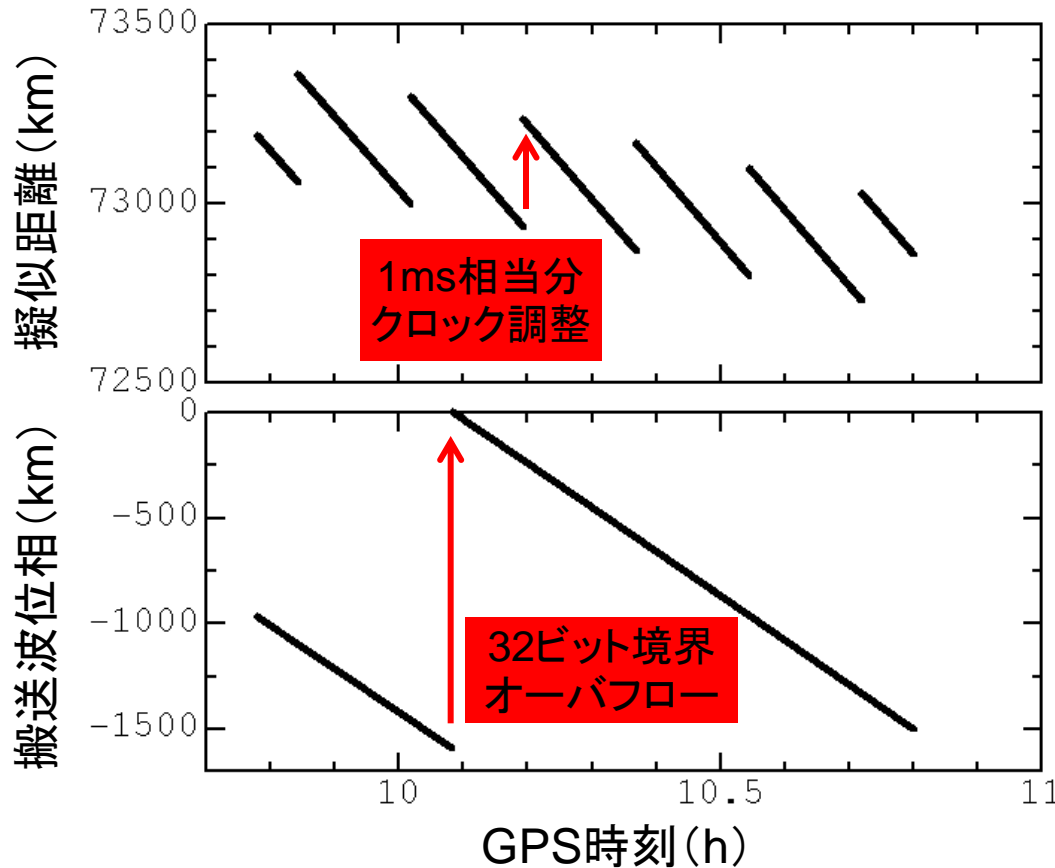
- 電子基準点940058(高山)におけるユーザ測位誤差。
- モニタ局配置は、札幌・茨城・東京・神戸・福岡・那覇の6局構成。
- 実験期間：2008年1月19～23日（5日間）

システム		水平測位誤差	垂直測位誤差
GPS単独	RMS	1.45 m	2.92 m
	最大	6.02 m	8.45 m
L1-SAIF補強	RMS	0.29 m	0.39 m
	最大	1.56 m	2.57 m

(3)

技術実証実験

試験信号の受信



Start: 2010-10-23 09:46:48 GPST
 Stop: 2010-10-23 10:48:07 GPST

L1-SAIF (PRN183) Pseudorange

User location:

@ENRI Iwanuma Branch
 Iwanuma City, Miyagi Pref.

Receiver:

Furuno GPS/L1-SAIF Rx

Processing:

Raw pseudorange/ADR

- 軌道上の準天頂衛星から放送されたL1-SAIF試験信号を受信。
- 何らの補正も施していないため、主に受信機クロックの影響による変化がみられる。

車両による実験

- L1-SAIF技術実証実験：
 - 実験用車両によるL1-SAIF測位実験。
 - 実験場所：都市部・郊外・高速道路(高架道)を走行。
 - 実験期間：2010年12月～2011年3月。
- 実験機材：
 - 基準位置：GPS+IMUセンサで取得
 - GEONET電子基準点を利用して、後処理により高精度な基準位置を得る。
 - 車両内にGPS/L1-SAIF受信機とPCを搭載。
 - 受信機はL1-SAIF補強処理をリアルタイムに実行し、結果を出力。
 - 記録された位置出力と基準位置を比較し、測位誤差を求めた。



つくば市での実験



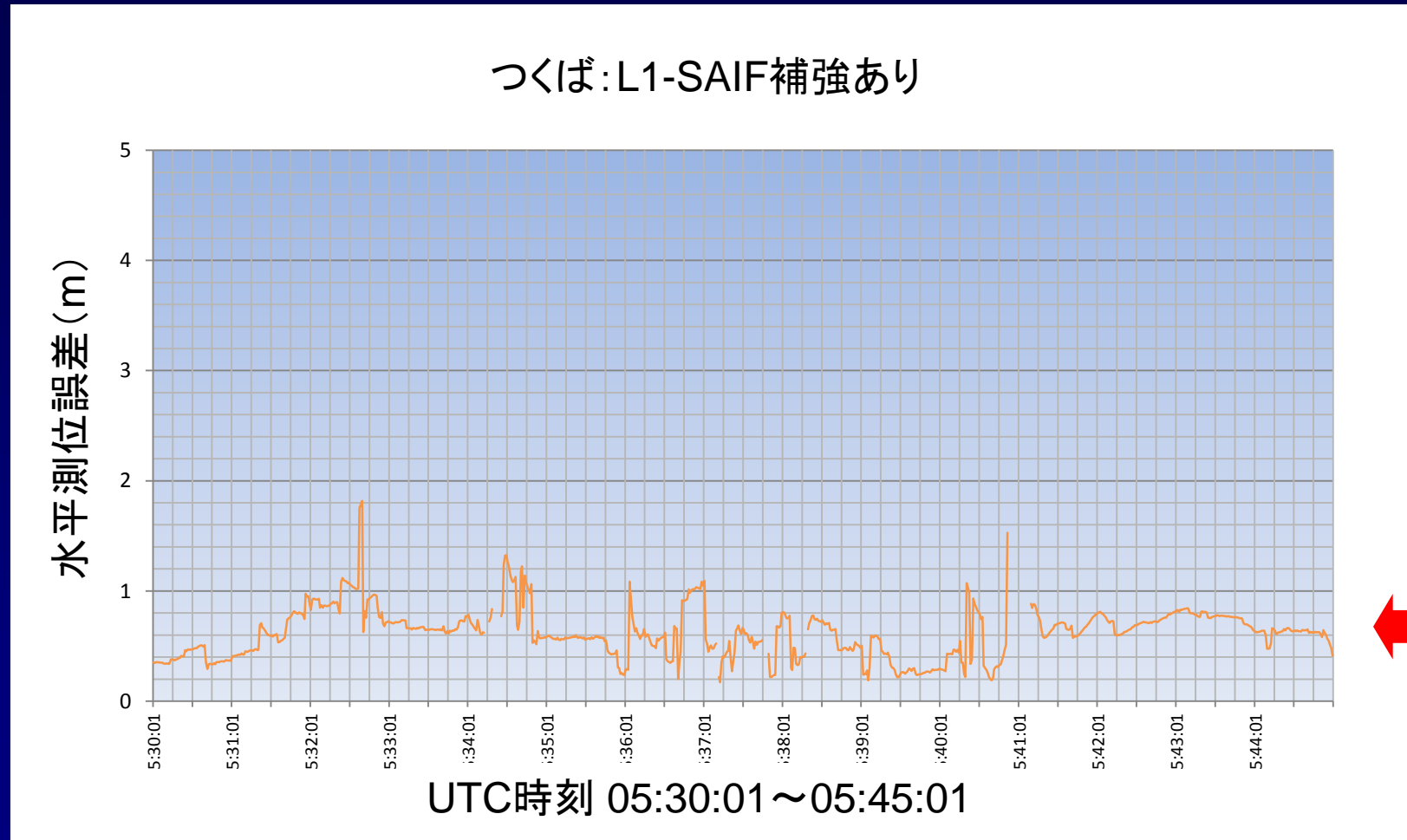
走行経路



典型的な状況

- 2010年12月16日 (準天頂衛星は天頂付近にあることを確認)
- 茨城県つくば市の西部郊外を6kmほど走行した。
- 高層建築は少ないが、電柱や電線、信号機といった障害物が多数ある状況。

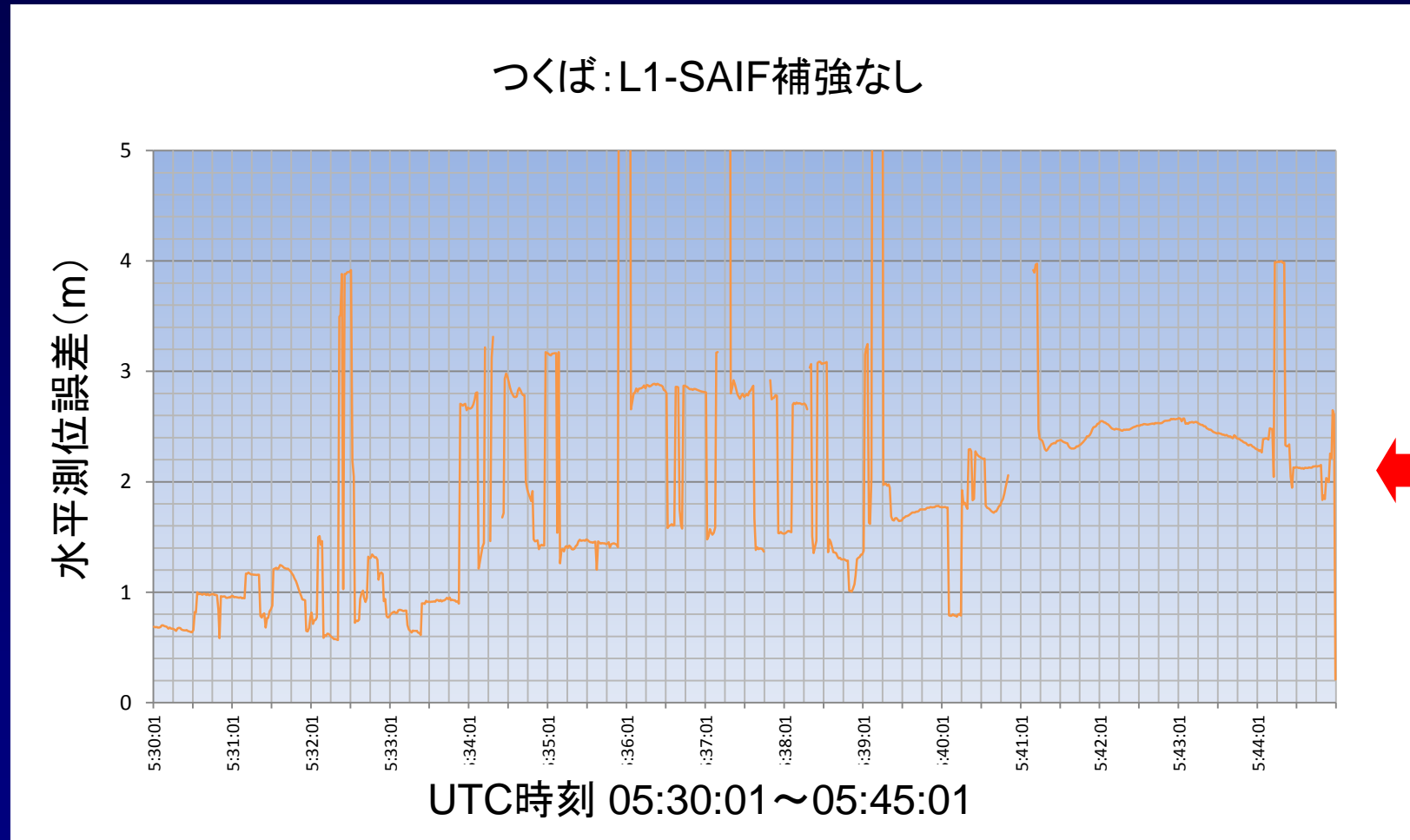
つくば市:L1-SAIF補強あり



← 15分 →

← 0.6m

つくば市:補強なし



← 2.0m

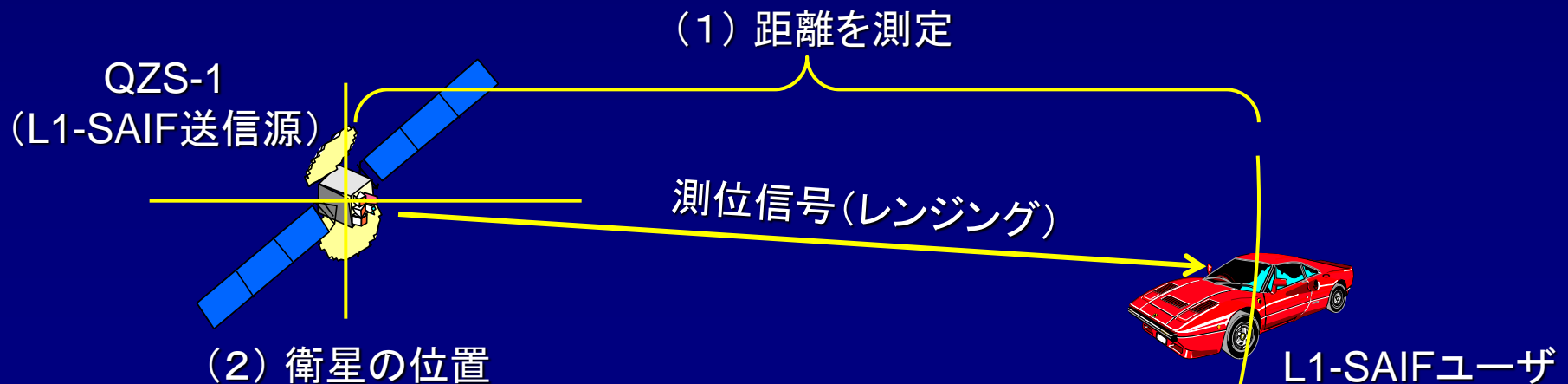
← 15分 →

(4)

L1-SAIF信号のレンジング性能

レンジング機能の利用

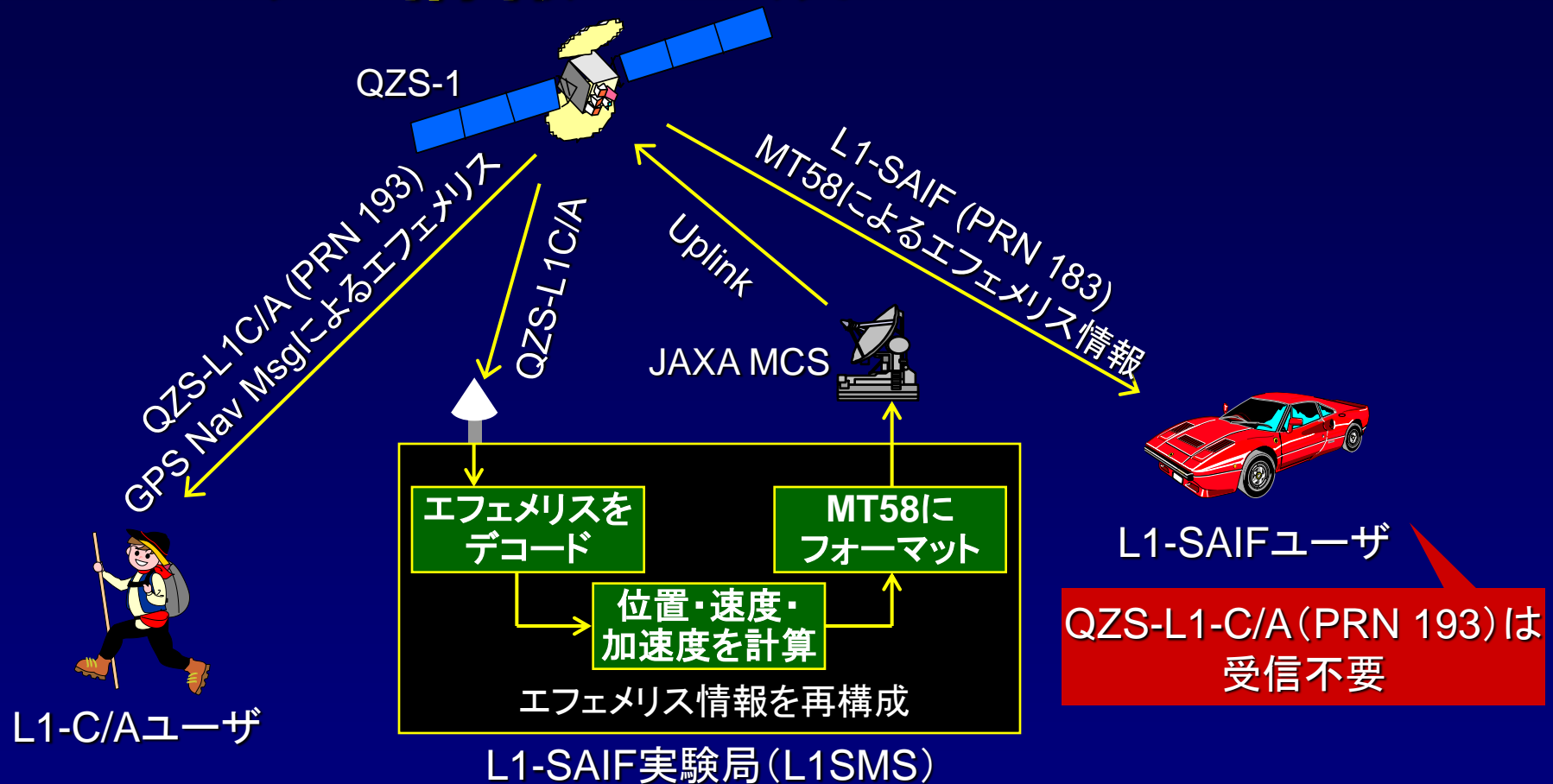
- L1-SAIF信号のレンジング(測距)機能：
 - 信号形式はGPS L1 C/A信号と同一：距離の測定に使用可能。
 - レンジング機能で測定した距離を測位計算に使用するには、準天頂衛星自身のエフェメリス情報(軌道情報)を放送する必要がある。
 - ◆ このため、L1-SAIF拡張メッセージでMT58「QZSエフェメリス」を定義。
 - ◆ L1-SAIF実験局にMT58を放送する機能を付加。
- エフェメリス情報の品質も含めて、レンジング性能を評価した。



MT58 エフェメリス情報

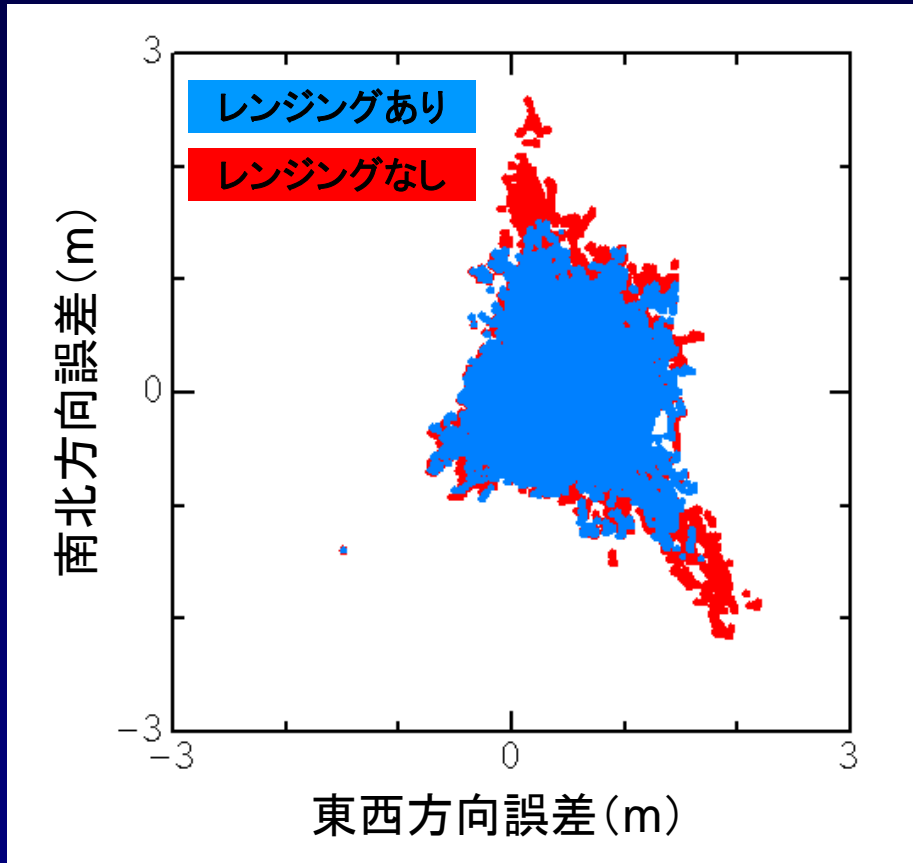
項目	ビット数	範囲	分解能	内容
$t_{0,Q}$	8	0~10740 s	60 s	エポック時刻 (IODNとしても使用)
URA	4	0~15	1	測距精度指標
x	26	± 42950 km	1.28 m	X座標 (ECEF座標系)
y	26	± 42950 km	1.28 m	Y座標 (ECEF座標系)
z	26	± 42950 km	1.28 m	Z座標 (ECEF座標系)
v_x	24	± 4.194 km/s	0.5 mm/s	速度 (X軸方向)
v_y	24	± 4.194 km/s	0.5 mm/s	速度 (Y軸方向)
v_z	24	± 4.194 km/s	0.5 mm/s	速度 (Z軸方向)
\ddot{x}	5	± 32 mm/s ²	2 mm/s ²	加速度 (X軸方向、摂動成分のみ)
\ddot{y}	5	± 32 mm/s ²	2 mm/s ²	加速度 (Y軸方向、摂動成分のみ)
\ddot{z}	5	± 32 mm/s ²	2 mm/s ²	加速度 (Z軸方向、摂動成分のみ)
a_{Gf0}	22	± 1.953 ms	2^{-30} s	クロック補正 (オフセット成分)
a_{Gf1}	13	± 3.725 ns/s	2^{-40} s/s	クロック補正 (ドリフト成分)
合計	212			1メッセージ分

エフェメリス情報の生成



- QZS-L1-C/A信号(補完信号:PRN 193)で放送された軌道情報から、L1-SAIF信号向けのエフェメリス情報を再構成する:
 - ◆ L1-C/A信号の航法メッセージを取得して、位置・速度・加速度に変換してMT58を生成する。
- ユーザはL1-SAIF (PRN 183)以外の信号を受信する必要はない。

水平測位誤差



Start: 2011-08-18 02:10:14 GPST
 Stop: 2011-08-18 23:59:59 GPST

L1-SAIF (PRN183) Ranging ON

L1SMS Configuration:

6 DF GPS GMS (GEONET)

4 SF GPS/QZS GMS (JAXA)

User location:

@NICT, Koganei City, Tokyo

Receiver:

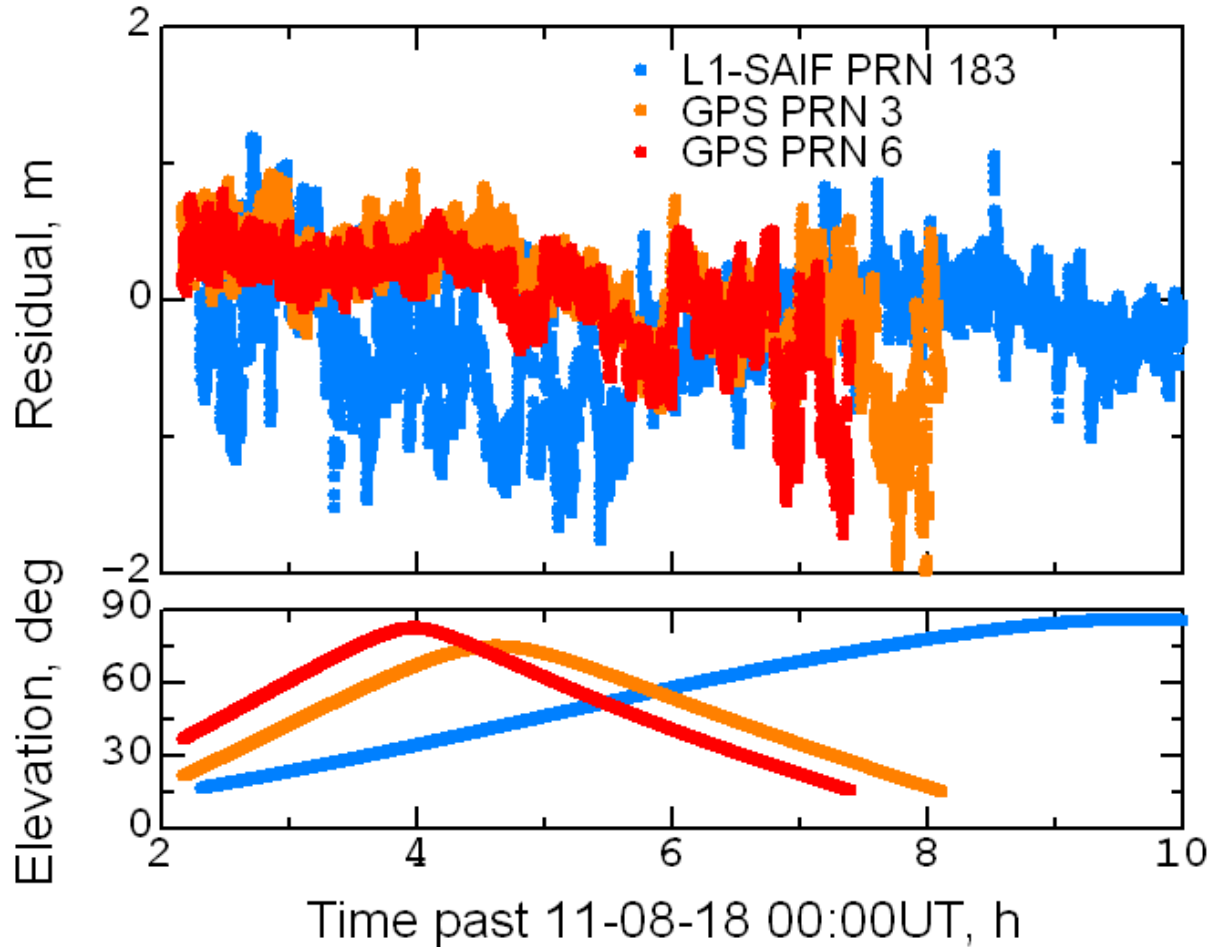
JAXA-MS GPS/QZS Rx

Processing by ENRI

Mask 5deg, Smoothing 100s

L1-SAIF レンジング	水平測位誤差		垂直測位誤差	
	RMS	最大	RMS	最大
ON	0.636 m	2.237 m	0.763 m	4.025 m
OFF	0.674 m	2.898 m	0.819 m	5.099 m

レンジング誤差: 衛星別



Start: 2011-08-18 02:18:45 GPST
 Stop: 2011-08-18 21:16:20 GPST

L1-SAIF (PRN183) Ranging ON

L1SMS Configuration:

6 DF GPS GMS (GEONET)

4 SF GPS/QZS GMS (JAXA)

User location:

@ENRI, Tokyo

Receiver:

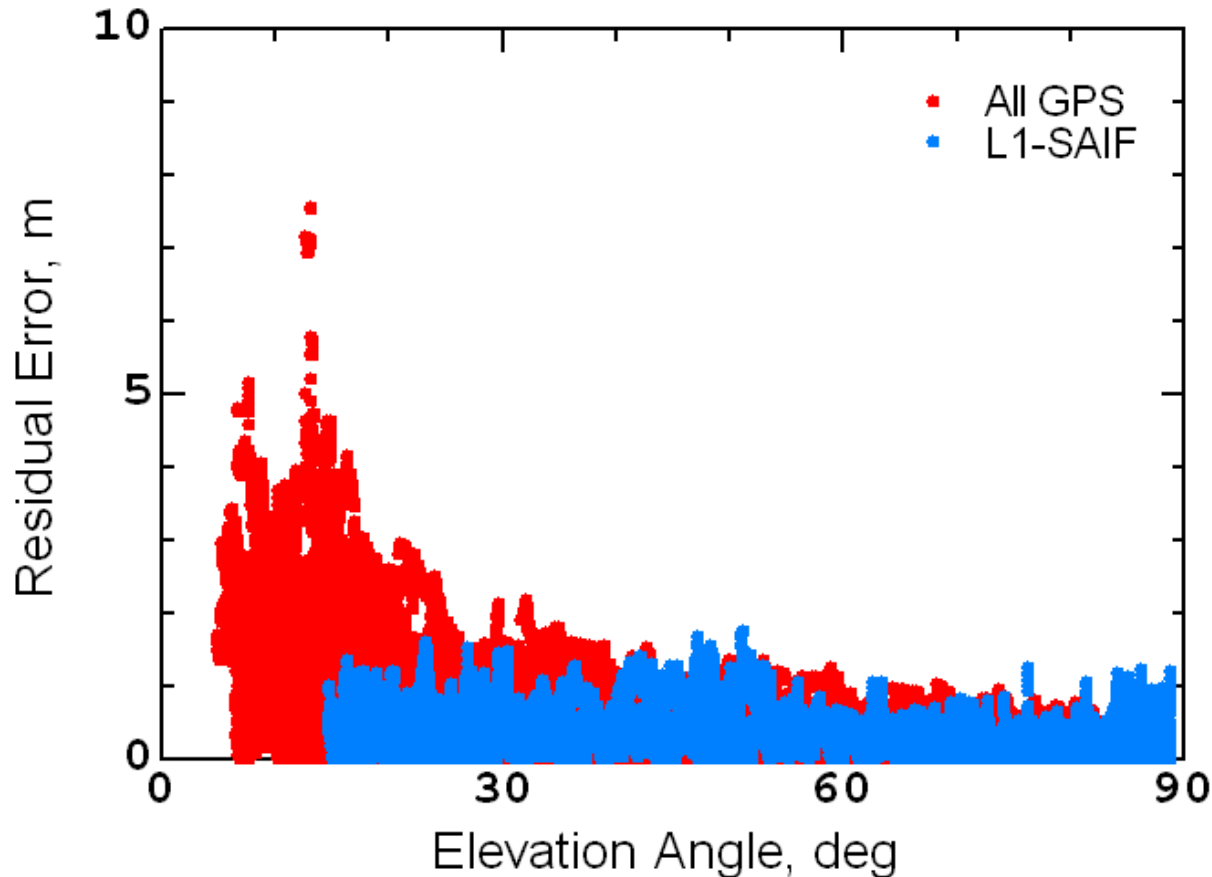
JAVAD ALPHA-G3T

Processing by ENRI

Mask 5deg, Smoothing 100s

- GPS PRN 3はセシウム原子時計、PRN 6はルビジウム原子時計で稼動。
- L1-SAIF信号のレンジング性能はGPS並みといえる。

レンジング誤差: 仰角別



Start: 2011-08-18 02:18:45 GPST
Stop: 2011-08-18 21:16:20 GPST

L1-SAIF (PRN183) Ranging ON

L1SMS Configuration:

6 DF GPS GMS (GEONET)

4 SF GPS/QZS GMS (JAXA)

User location:

@ENRI, Tokyo

Receiver:

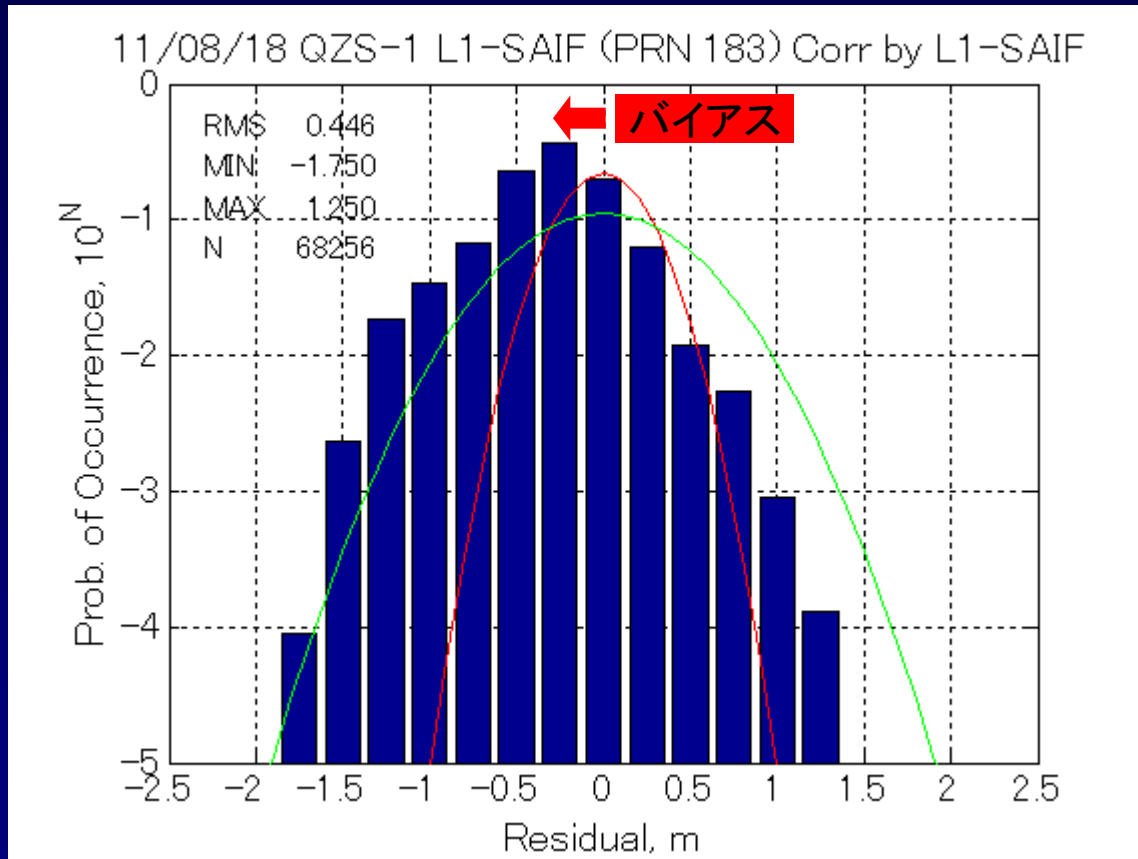
JAVAD ALPHA-G3T

Processing by ENRI

Mask 5deg, Smoothing 100s

- 仰角別のヒストグラムとして表示してみた様子。
- レンジング精度はGPSでは仰角に依存するが、L1-SAIFではそうでもない。

誤差ヒストグラム



Start: 2011-08-18 02:18:45 GPST
 Stop: 2011-08-18 21:16:20 GPST

L1-SAIF (PRN183) Ranging ON

L1SMS Configuration:

6 DF GPS GMS (GEONET)

4 SF GPS/QZS GMS (JAXA)

User location:

@ENRI, Tokyo

Receiver:

JAVAD ALPHA-G3T

Processing by ENRI

Mask 5deg, Smoothing 100s

- 誤差は仰角によらず1.8m以内に収まり、RMS値も0.44mと良好。
- 小さなバイアス誤差(～0.3m)がみられる。

まとめ

- 準天頂衛星システム(QZSS) L1-SAIF補強信号:
 - 準天頂衛星は、GPS補完信号に加え、補強信号を放送する。
 - 補強信号:すべてのGPS衛星に対して、測位性能を改善する補強情報を提供する。
 - L1-SAIF信号:GPS L1 C/Aと同一形式の補強信号。当所が開発を担当。
 - JAXAの高精度測位実験システムと連携して稼動するL1-SAIF実験局を電子航法研究所内に整備した。
- 技術実証実験:
 - 準天頂衛星「みちびき」を使用して技術実証実験を実施。
 - L1-SAIF信号については車両による実験を行い、サブメータ程度の測位精度が得られることを確認した。
 - L1-SAIF信号の測距機能を利用できるようL1-SAIF実験局に機能追加。測距性能を評価したところ、0.44m RMS程度の良い性能を確認した。