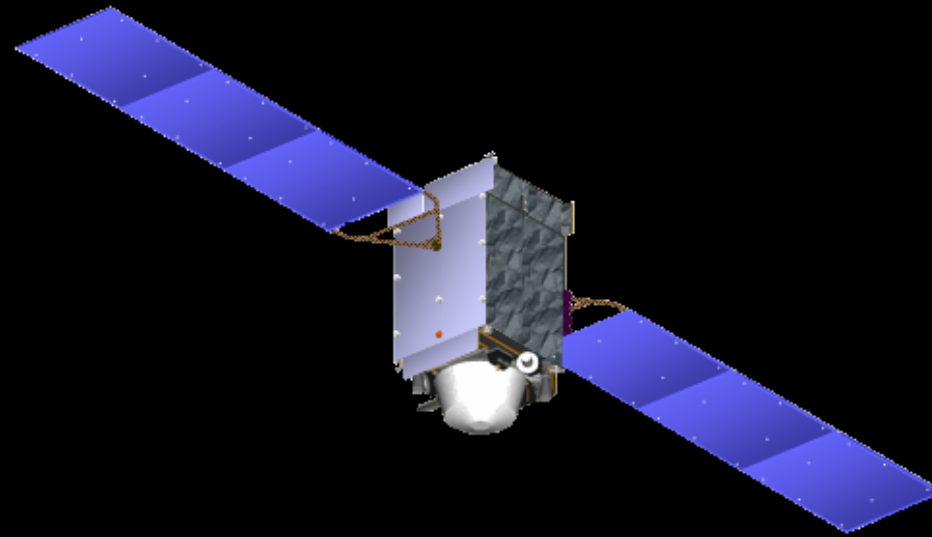


7. 準天頂衛星L1-SAIF実験局の 総合検証試験



高精度測位PT
坂井 丈泰、福島荘之介、伊藤憲

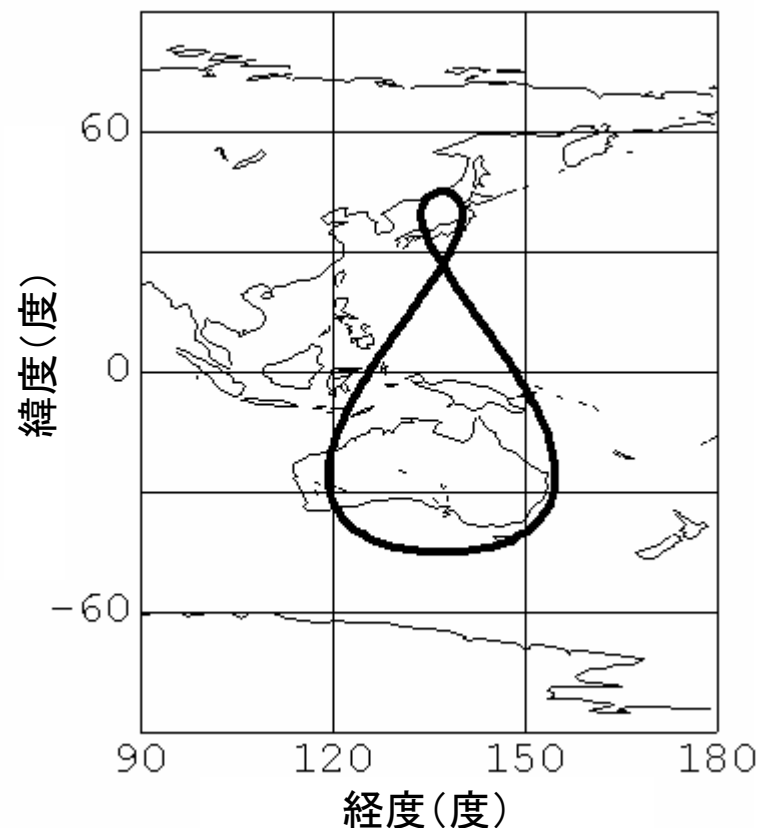
はじめに

- 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測位サービス。
 - GPS補完信号(測位衛星として動作)に加え、補強信号(付加的な情報を提供して全体の性能向上を図る)を放送。補強信号:L1-SAIF、LEXの2種類。
 - 7つの研究開発機関が参加して技術実証実験を実施する。
 - 初号機「みちびき」を今夏に打上げ予定。
- L1-SAIF実験局:
 - 国土交通省の委託を受け、電子航法研究所が開発を担当。
 - L1-SAIF信号に乗せて放送する補強情報を生成し、JAXA地上局に伝送する。
 - 電子航法研究所(東京都調布市)実験室内に整備、各種試験を完了。
- 内容:
 - (1) 準天頂衛星システムとL1-SAIF補強信号
 - (2) L1-SAIF信号の設計
 - (3) L1-SAIF実験局の開発
 - (4) リアルタイム動作試験

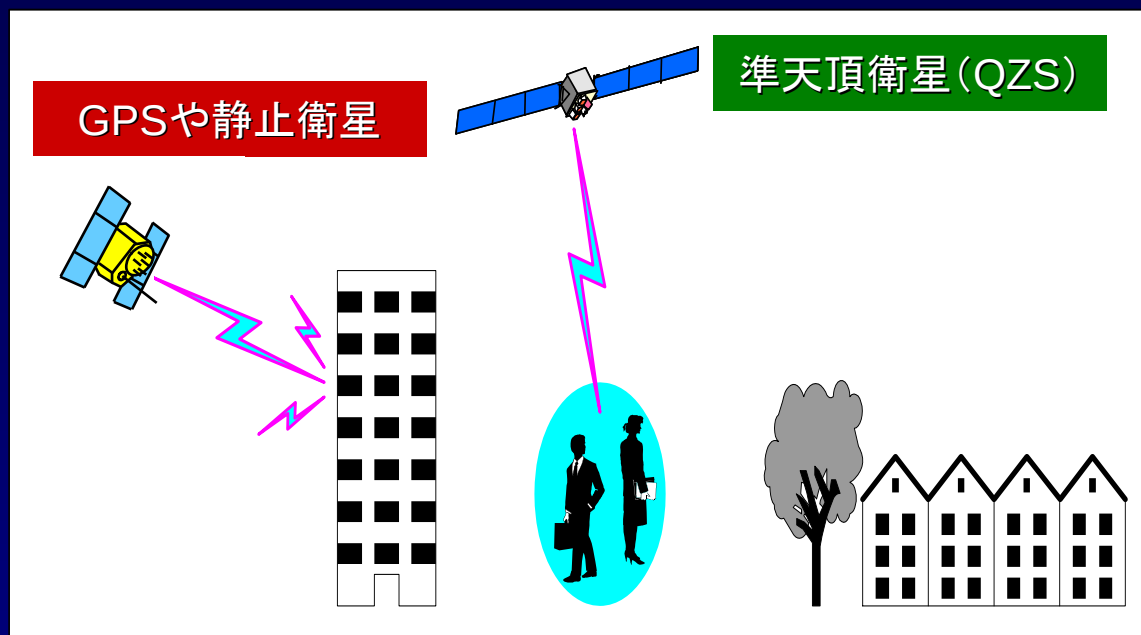
(1)

準天頂衛星システムとL1-SAIF補強信号

準天頂衛星のメリット

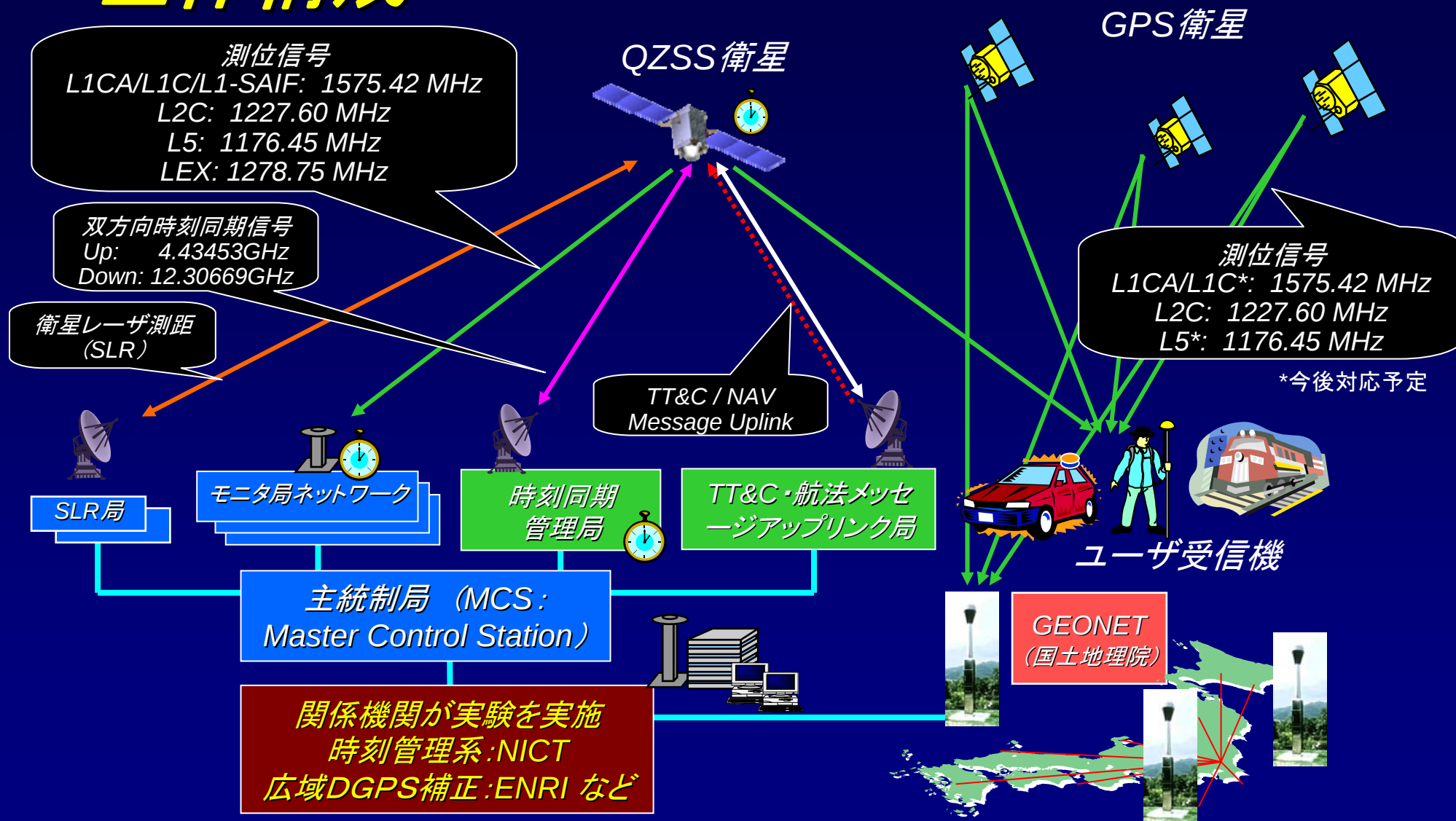


東経135度を中心に配置
離心率0.1 軌道傾斜角45度



- 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。

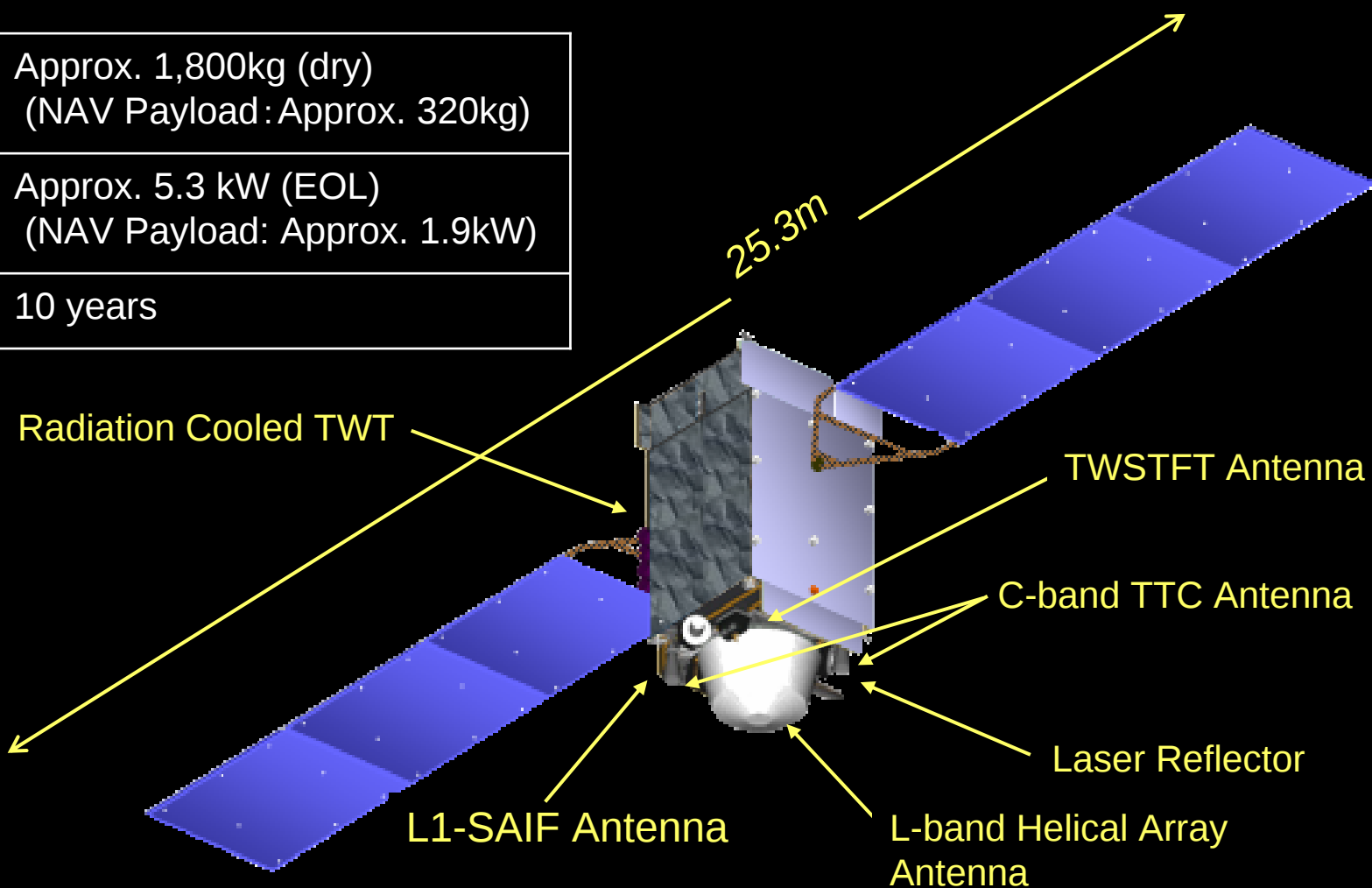
全体構成



(JAXA QZSS PT提供の図より)

準天頂衛星初号機(QZS-1)

質量	Approx. 1,800kg (dry) (NAV Payload: Approx. 320kg)
発生電力	Approx. 5.3 kW (EOL) (NAV Payload: Approx. 1.9kW)
設計寿命	10 years



(図: JAXA QZSS PT)

放送信号

信号名		周波数	帯域幅	最低受信電力
QZS-L1C	L1CD	1575.42 MHz	24 MHz	−163.0 dBW
	L1CP		24 MHz	− 158.25 dBW
QZS-L1-C/A			24 MHz	− 158.5 dBW
QZS-L1-SAIF			24 MHz	− 161.0 dBW
QZS-L2C		1227.6 MHz	24 MHz	− 160.0 dBW
QZS-L5	L5I	1176.45 MHz	25 MHz	− 157.9 dBW
	L5Q		25 MHz	− 157.9 dBW
QZS-LEX		1278.75 MHz	42 MHz	− 155.7 dBW

補完信号
(JAXA)

補強信号
(ENRI)

補完信号
(JAXA)

補強信号
(ENRI)

補強信号
(JAXA/GSI)

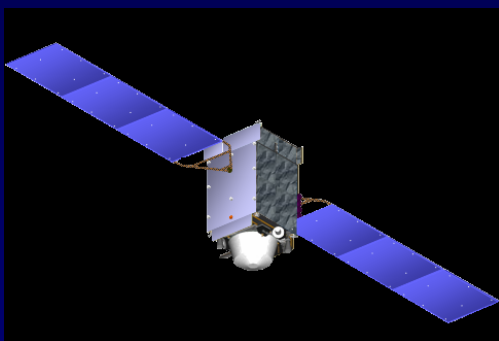
- 補完系: L1C/A、L2C、L5はGPSとほぼ互換 (PRN193)
- 補強系: L1-SAIFはGPS/SBASとほぼ互換 (PRN183)、LEXは独自仕様
- 詳細はIS-QZSSに規定あり

(2)

L1-SAIF信号の設計

L1-SAIF補強信号

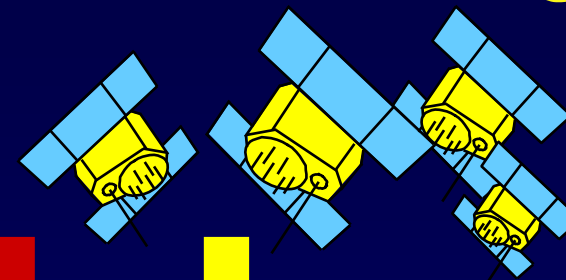
準天頂衛星



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)



GPS衛星群

測位信号

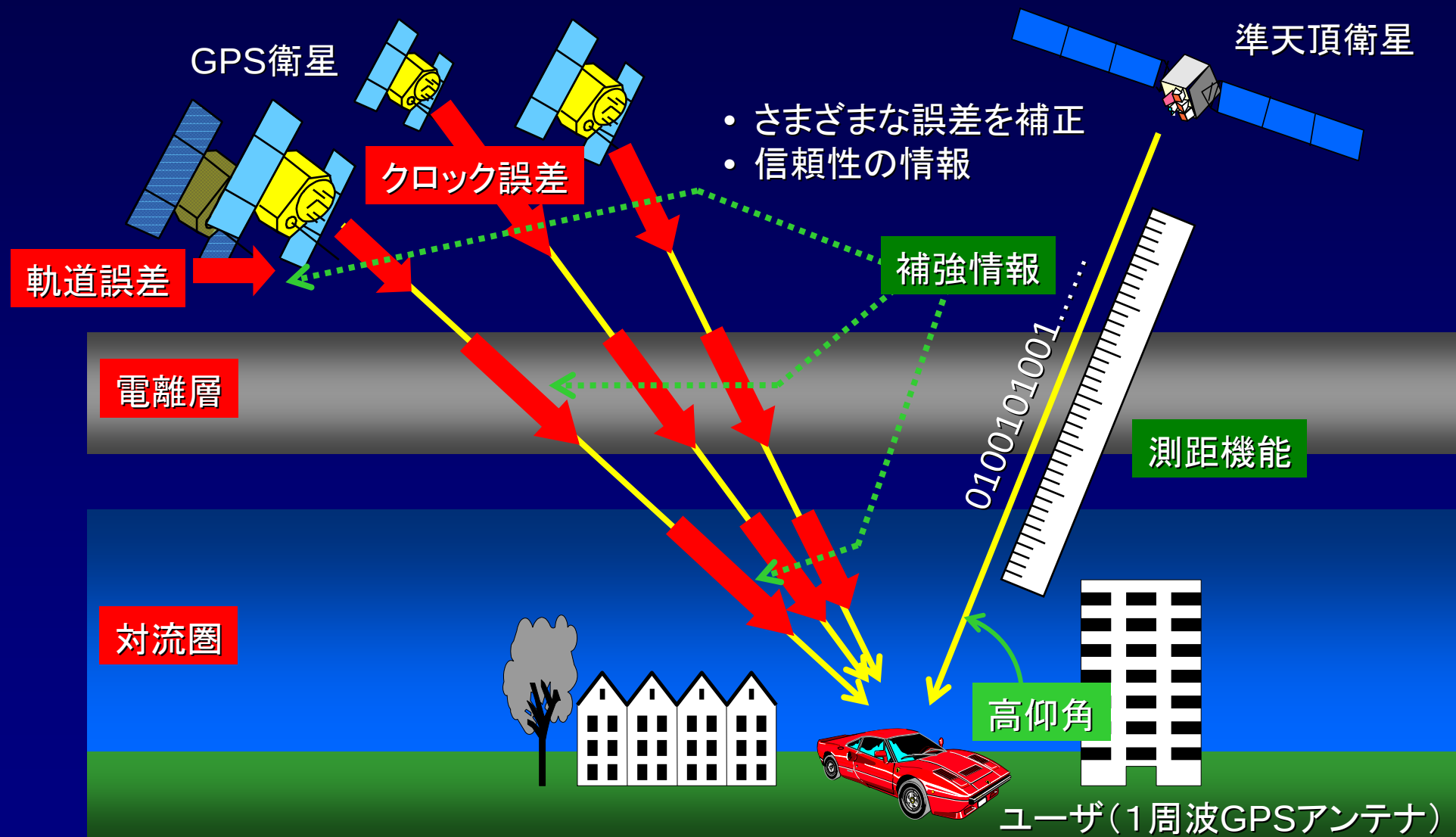
- 一つの補強信号により、3つの機能を提供: 補完機能 (距離測定)・誤差補正 (目標精度=1m)・信頼性付与。
- ユーザ受信機は、1つのGPS用アンテナによりGPSとL1-SAIFの両方を受信: 受信機の負担軽減。
- 情報の伝送はメッセージ単位: メッセージ順序・内容は可変=フレキシブルな情報提供。

SAIF: Submeter Augmentation with Integrity Function



ユーザ
(GPS受信機)

サブメータ級補強の仕組み



L1-SAIFメッセージ形式

- 航空用補強システムSBASと同一のフォーマット:
 - GPS L1 C/Aコード、PRN183で送信。毎秒1個のメッセージ。
 - メッセージの内容はメッセージタイプで識別。送信順序は任意＝フレキシブル。
 - SBAS用ソフトウェアを流用可能：受信機ソフトウェアの開発負担を軽減。
 - サブメータ級の測位精度は達成可能。
- 補強メッセージの内容:
 - 日本全国で利用可能な広域ディファレンシャル補正情報：衛星軌道・クロック・電離層遅延・対流圏遅延をそれぞれ別々に補正。
 - 補強対象：GPS・準天頂衛星自身・(GLONASS)・(ガリレオ)
 - 基本的な補強情報はSBAS互換メッセージで、高度な補強処理については拡張メッセージで対応。

プリアンブル 8ビット	メッセージタイプ 6ビット	データ領域 212ビット	CRCコード 24ビット
----------------	------------------	-----------------	-----------------

250ビット／1秒

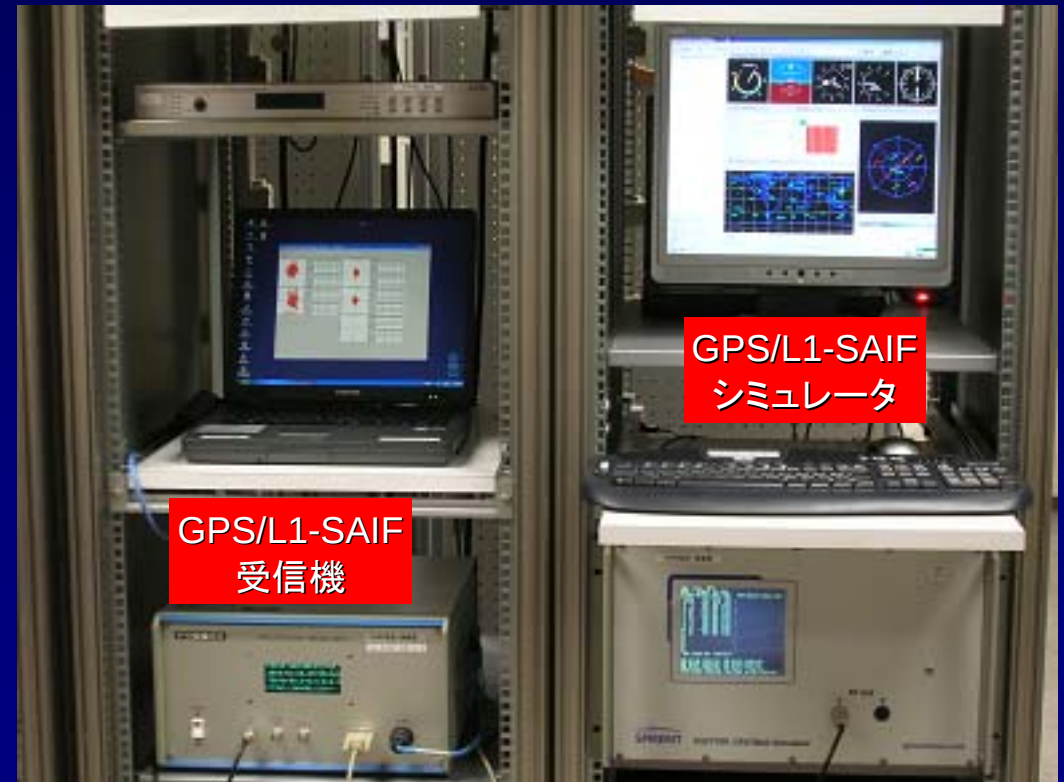
GPS/L1-SAIFシミュレータ

- GPS/L1-SAIFシミュレータ:

- GPS L1 C/A信号および QZSS L1-SAIF信号を発生。
- あらかじめ与えられているGPS衛星およびQZSS衛星の軌道情報および信号仕様に従ってRF信号を生成。
- Spirent社製GPS/SBASシミュレータ GSS7700を改造。

- 実験用に付加した機能:

- L1-SAIFメッセージをLANポートからTCP/IP接続により入力するためのコマンドを追加。
- L1-SAIFメッセージは、このコマンドによるか、あるいはシミュレータ内部で生成されたSBASメッセージが流用される。



GPS/L1-SAIF受信機

- プロトタイプGPS/L1-SAIF受信機:

- GPS L1 C/A信号およびQZSS L1-SAIF信号を受信。
- IS-QZSSの規定に従い、L1-SAIFメッセージを復調・適用する。
- 古野電気製。

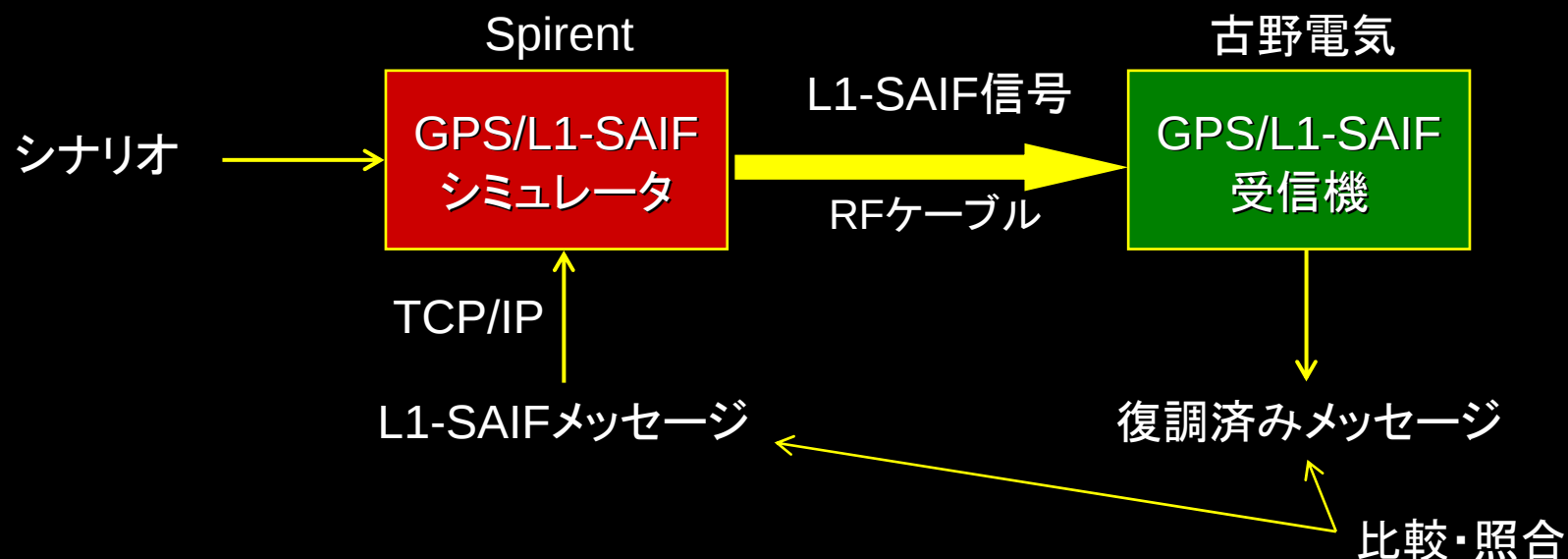
- 実験用に付加した機能:

- L1-SAIFメッセージをLANポートからTCP/IP接続にて入力できる。
- L1-SAIFおよびSBAS信号を同時に処理し、複数の測位結果を出力可能。
- 持ち運び可能なサイズ・重量。



RF信号互換性試験

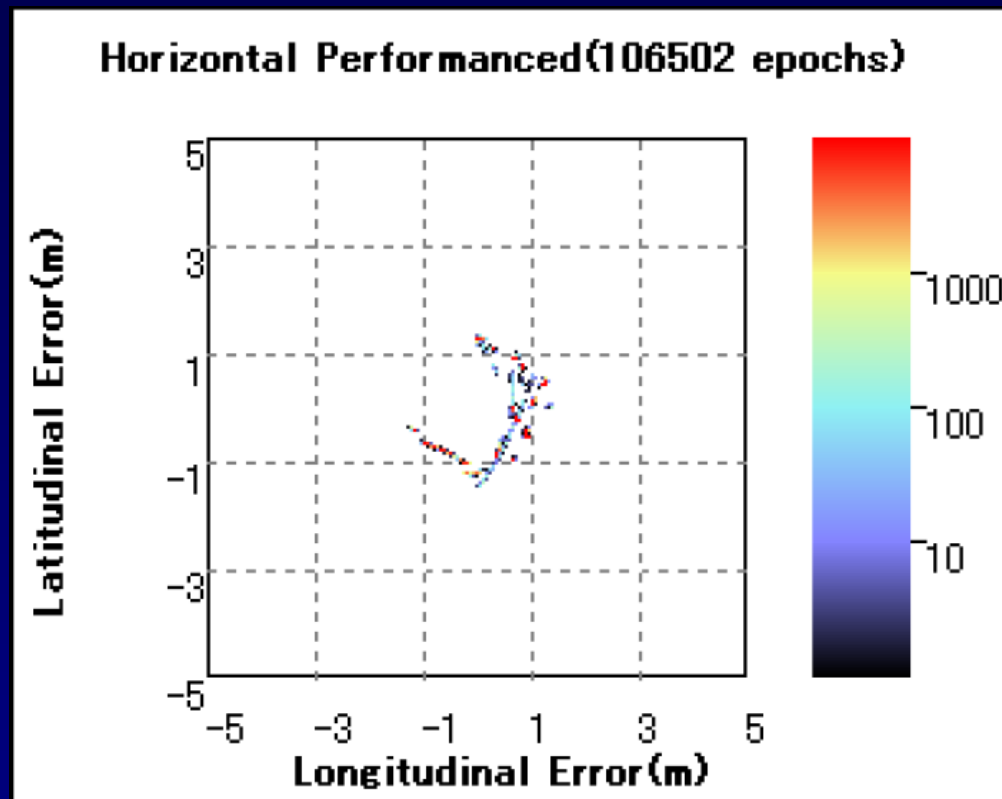
電子航法研究所(調布市)



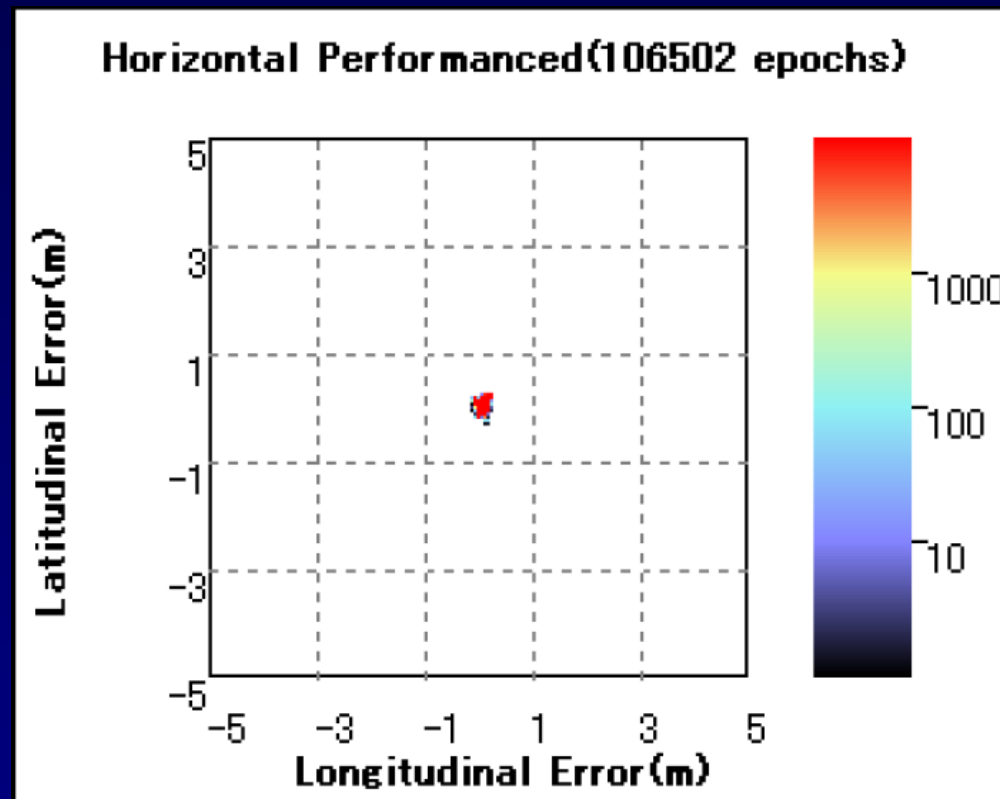
- **測距機能**: L1-SAIFシミュレータが生成したRF信号を使用して、正常にユーザ位置が得られることを確認。
- **メッセージ復調**: シミュレータにLANポートから入力したL1-SAIFメッセージと、受信機が出力した復調済みメッセージが一致することを確認。シミュレータには送信時刻の2秒以上前にメッセージを入力する必要がある。
- 2009年2月まで断続的に実施・完了。

RF信号互換性試験(結果)

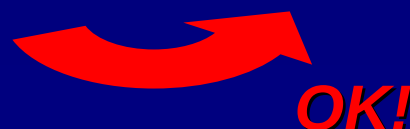
2008/9/10 00:05:00 to 06:00:00 (6 hours)



GPS単独測位



L1-SAIF補強あり

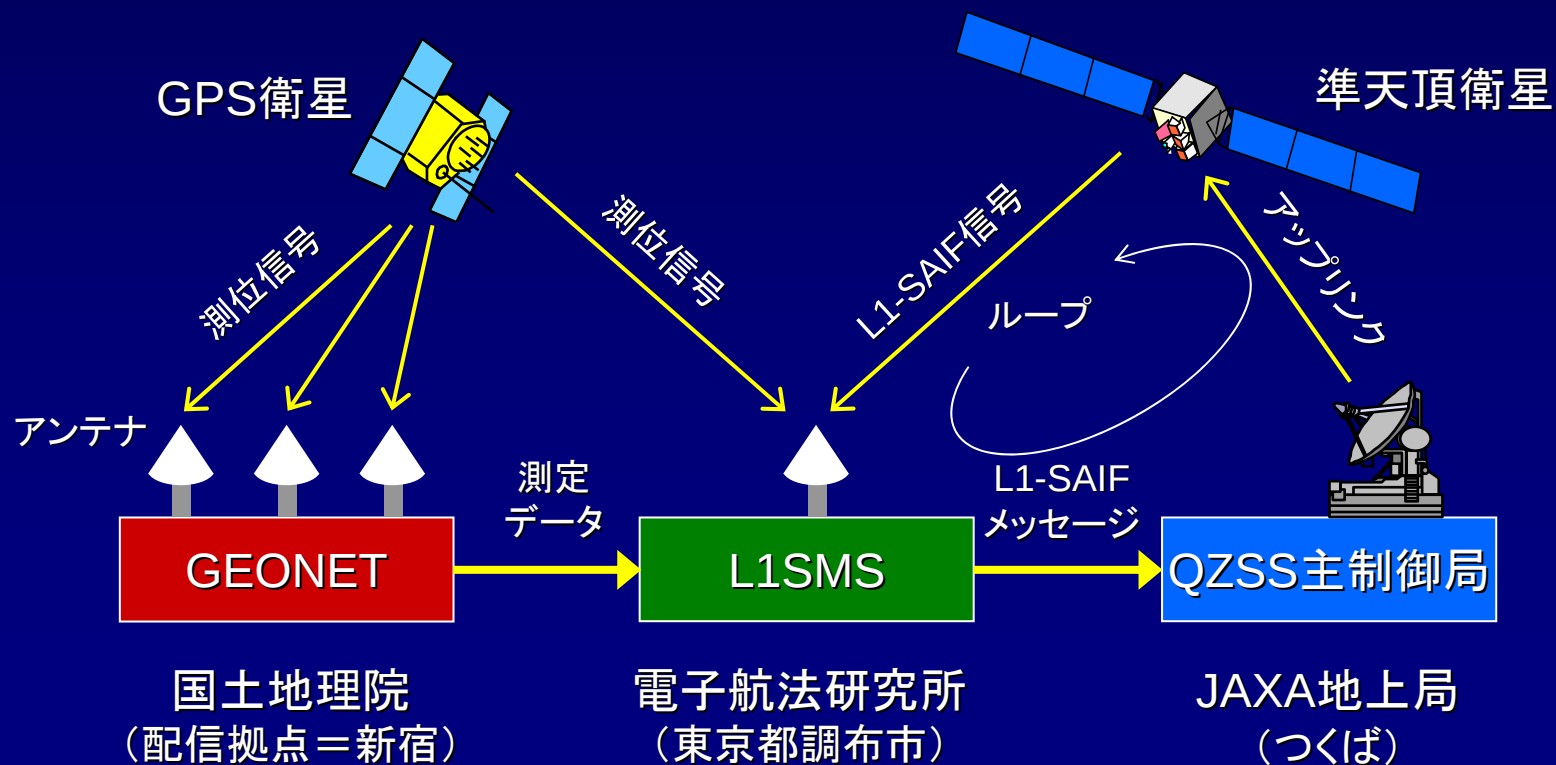


(3)

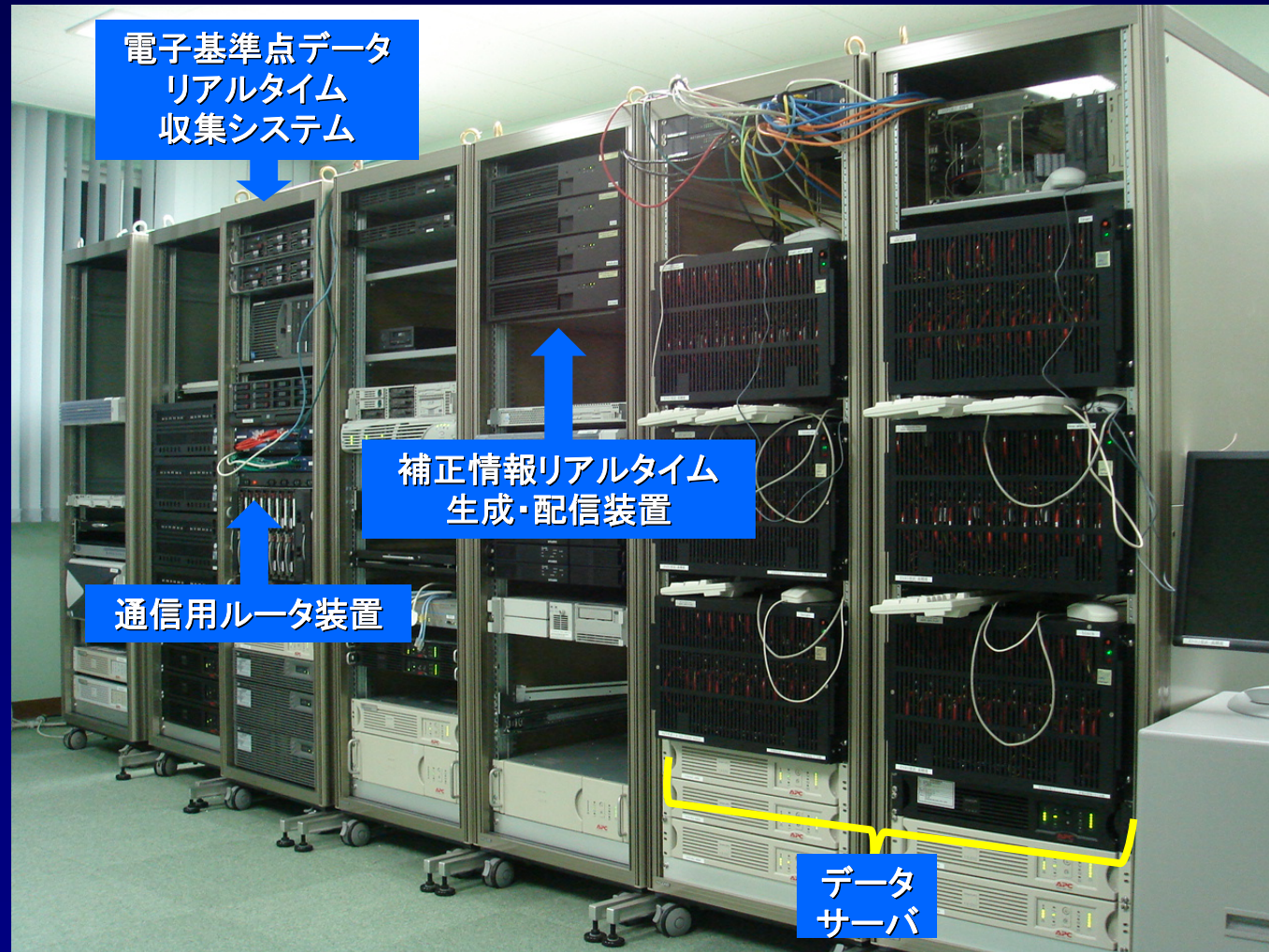
L1-SAIF実験局の開発

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。

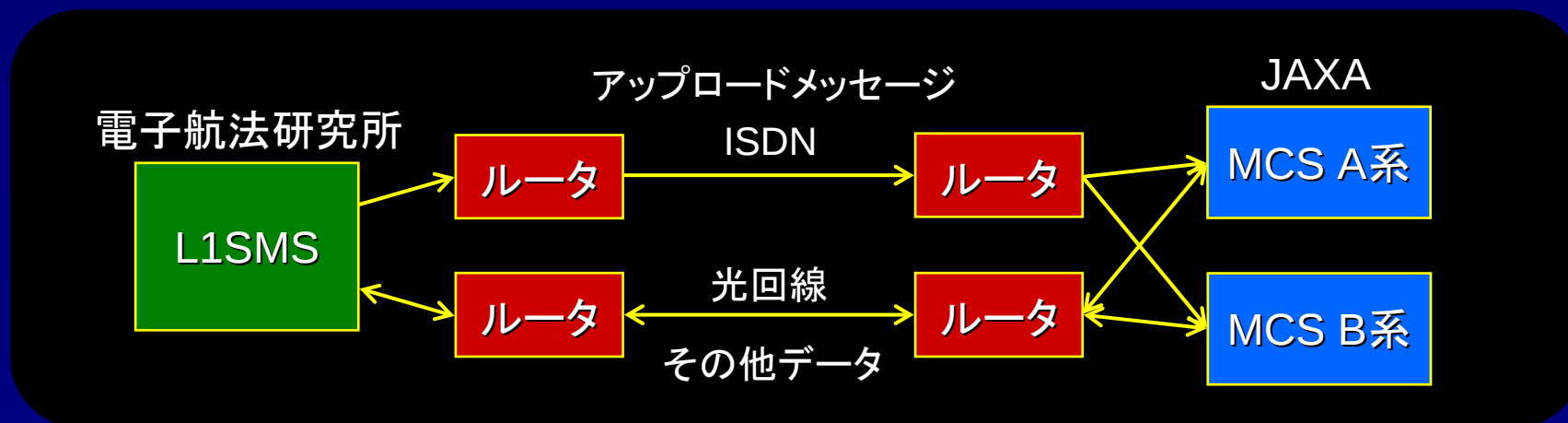


L1-SAIF実験局の外観



JAXA-ENRI インターフェース

- 地上システムICD (Interface Control Document) 「G-ICD」:
 - JAXA QZSS主制御局 (MCS) と電子航法研究所 L1-SAIF 実験局 (L1SMS) との間のインターフェースを規定。
 - 2008年1月に初版制定。
 - TCP/IP 接続で授受するデータのフォーマットをビット単位で詳細に規定。
- 2本の通信回線による構成:
 - ISDN (64kbps) および光回線 (1.5Mbps) を利用。
 - ISDN (低速回線): L1-SAIF アップロードのための高信頼回線。
 - 光回線 (高速回線): 実験局ステータスやモニタ局観測データを交換。

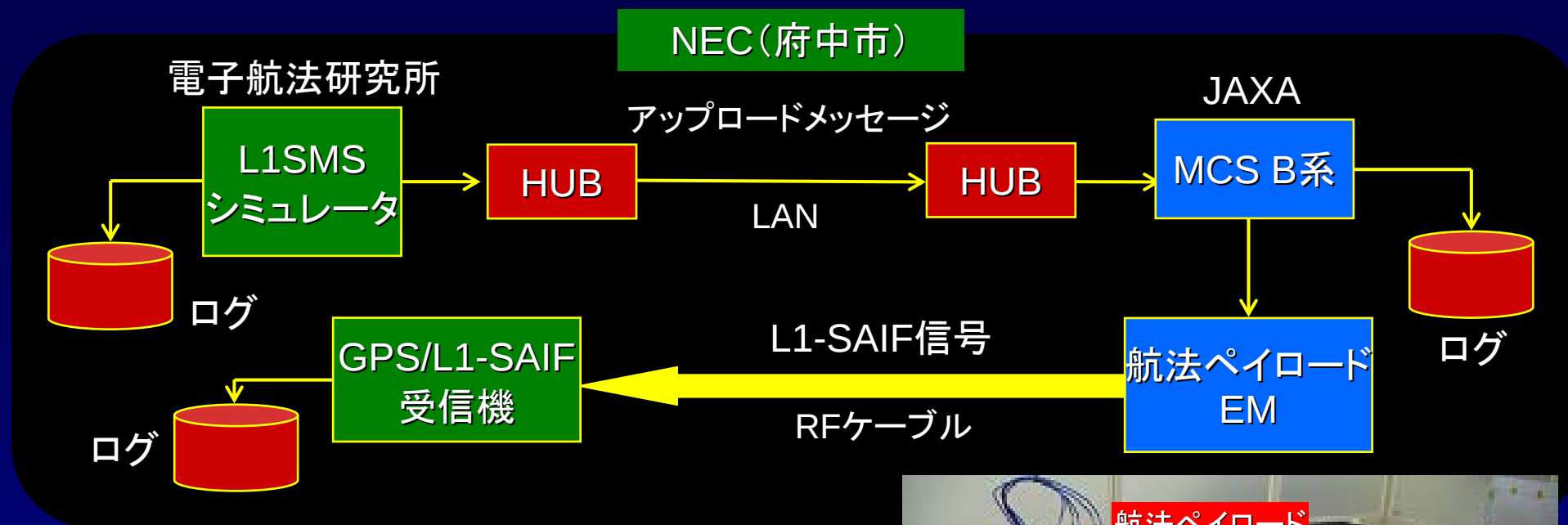


他機関と実施した試験

試験略称	実施時期	使用機材	
測位系間外試験(その1)	2008年11月	NEC府中	L1SMS、MCS
測位システム試験	2008年12月	NEC府中	L1SMS、MCS、NP-EM、GPS-L1-SAIF受信機
ETS-VIII利用実験	2009年2月	ENRI調布	L1SMS、ETS-VIII端末装置
		軌道上	ETS-VIII
		ENRI仙台	ETS-VIII端末装置、GPS/L1-SAIF受信機
測位系間外試験(その2)	2010年1月	ENRI調布	L1SMS
		JAXAつくば	MCS
測位地上系総合試験	2010年2月	ENRI調布	L1SMS
		JAXAつくば	MCS
総合検証試験	2010年2月	ENRI調布	L1SMS
		JAXAつくば	MCS
		MELCO鎌倉	NP-PFM、GPS/L1-SAIF受信機

NP: 航法ペイロード、EM: エンジニアリングモデル、PFM: プリフライトモデル

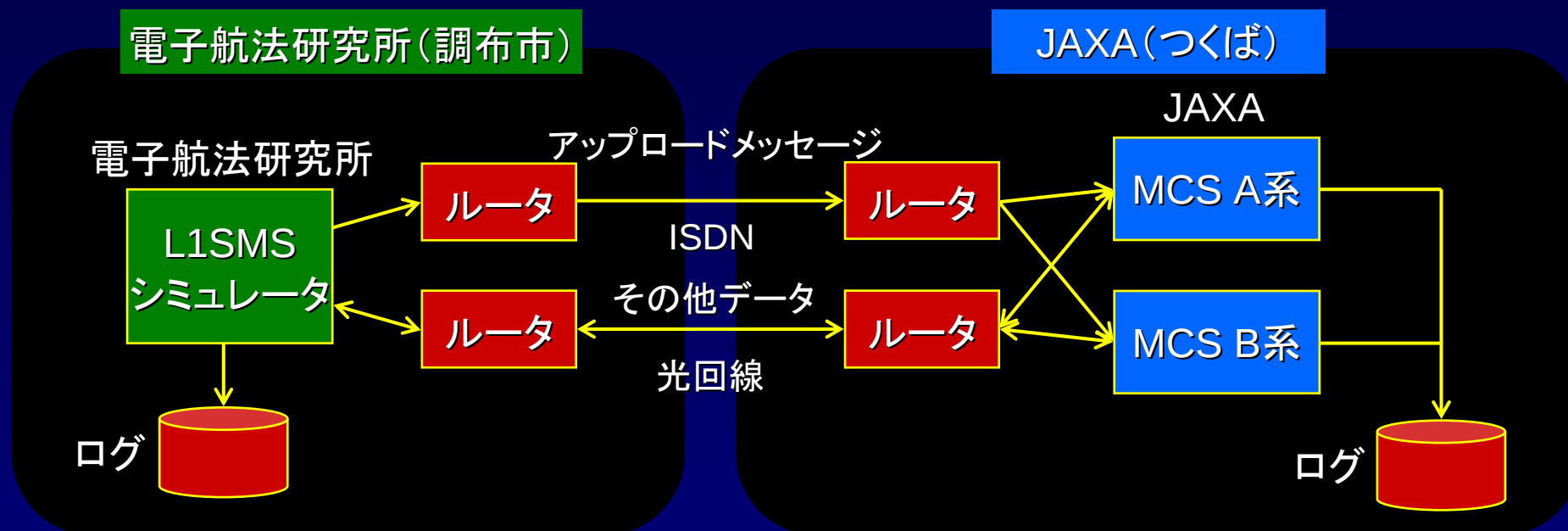
測位システム試験



- JAXA MCSとL1-SAIF実験局 (L1SMS)間、航法ペイロードとGPS/L1-SAIF受信機間のインターフェース試験。
- データパケットのフォーマット検証 (アップロード系のみ)、ログ情報の比較・照合。
- 2008年12月に実施・完了。



測位系間外試験(その2)



- 実際に使用する通信回線を利用したJAXA MCSとL1-SAIF実験局(L1SMS)のインターフェース試験。
- データパケットのフォーマット検証(全パケット)、ログ情報の比較・検証。
- 2010年1月に実施・完了。

総合検証試験

電子航法研究所(調布市)

電子航法研究所

L1SMS
シミュレータ

ログ

ルータ

ルータ

アップロードメッセージ

ISDN

その他データ

光回線

ルータ

ルータ

JAXA(つくば)

JAXA

MCS A系

ログ

追跡管制系

MELCO(鎌倉)

追跡管制系

航法ペイロードPFM

L1-SAIF信号 RFケーブル

GPS/L1-SAIF
受信機

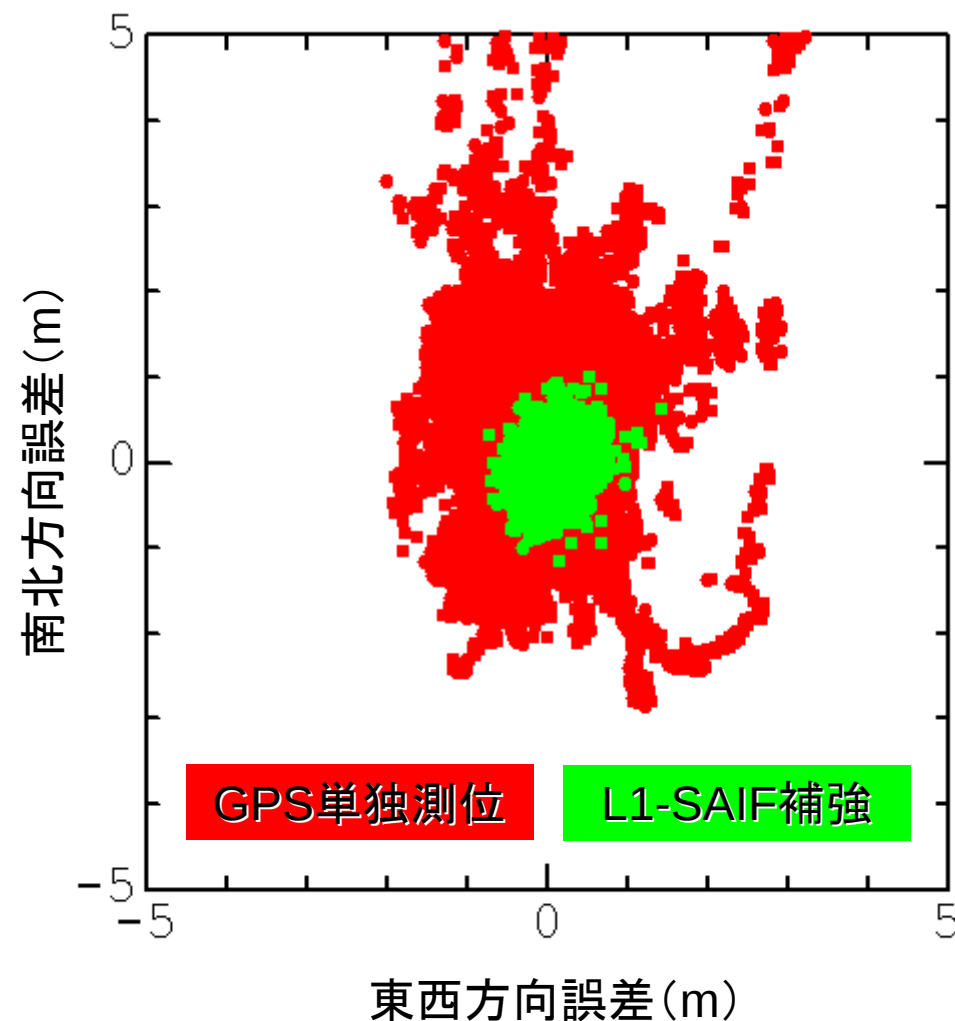
ログ

- JAXA MCS、L1-SAIF実験局(L1SMS)、航法ペイロード、GPS/L1-SAIF受信機をすべて接続した試験。
- データパケットのEnd-to-Endの整合性確認、ログ情報の比較・照合。
- 2010年2月に実施・完了。

(4)

リアルタイム動作試験

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

連続稼動試験

- L1-SAIF実験局を長期間にわたり連続運転：
 - ハードウェア・ソフトウェアの安定性を確かめる。
 - 期間1： 2008年3月11日～2008年5月24日（74日間）
 - 期間2： 2008年6月10日～2008年8月28日（79日間） ※これ以上は所内停電のため不可
- 試験結果：大きなトラブルなし：
 - 人による介入なしに正常に連続動作。
 - ユーザ測位精度にも特に目立った問題はみられない。

ユーザ測位精度の例（単位：m）

地点		940030 男鹿	93101 御前崎	940058 高山	940085 土佐清水	950491 佐多
期間1	水平	0.362	0.363	0.362	0.423	0.502
	垂直	0.517	0.536	0.548	0.608	0.739
期間2	水平	0.460	0.440	0.347	0.416	0.552
	垂直	0.657	1.236	0.678	0.699	1.371

ETS-VIIIによる実験



L1-SAIF実験局
(東京都調布市)



ETS-VIII(きく8号)



GPS衛星

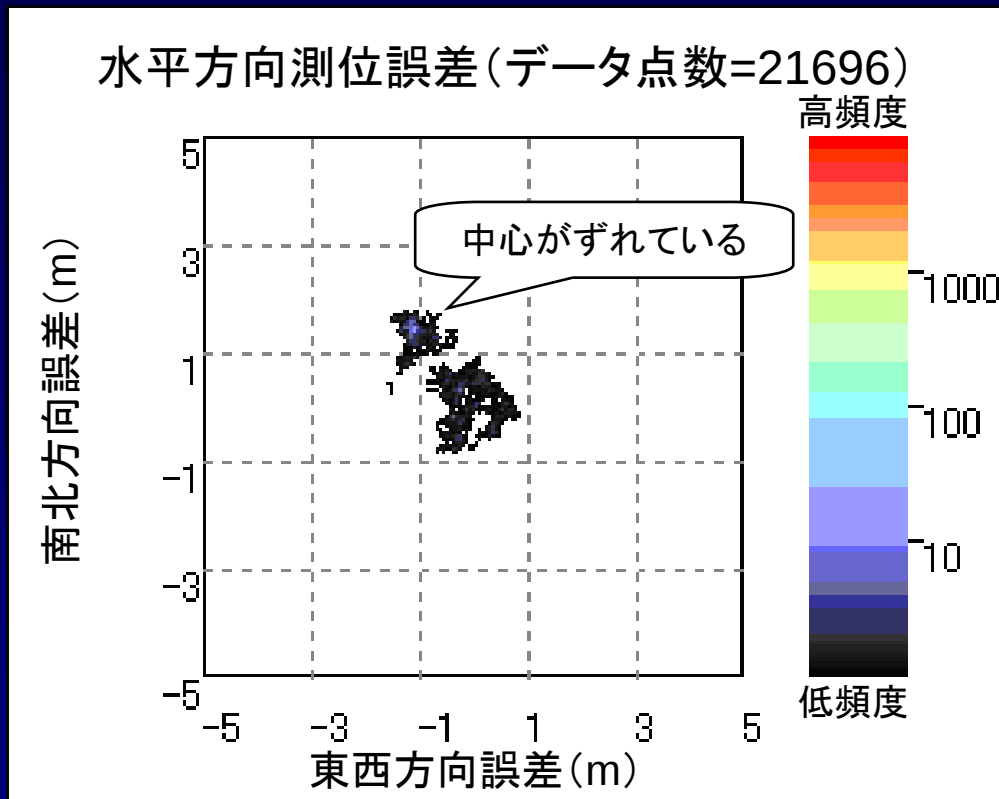


GPS/L1-SAIF受信機
(仙台空港)

- ETS-VIII衛星(きく8号)利用実験として、補強メッセージを衛星回線で伝送する実験を実施。
- 衛星回線・LANを経由して、L1-SAIFメッセージを遠隔地のGPS/L1-SAIF受信機で受信・処理し、補強済みの測位結果を得た。
- 信号形式が異なり、またETS-VIII端末に測距機能がないことから、補完機能の試験は不可。

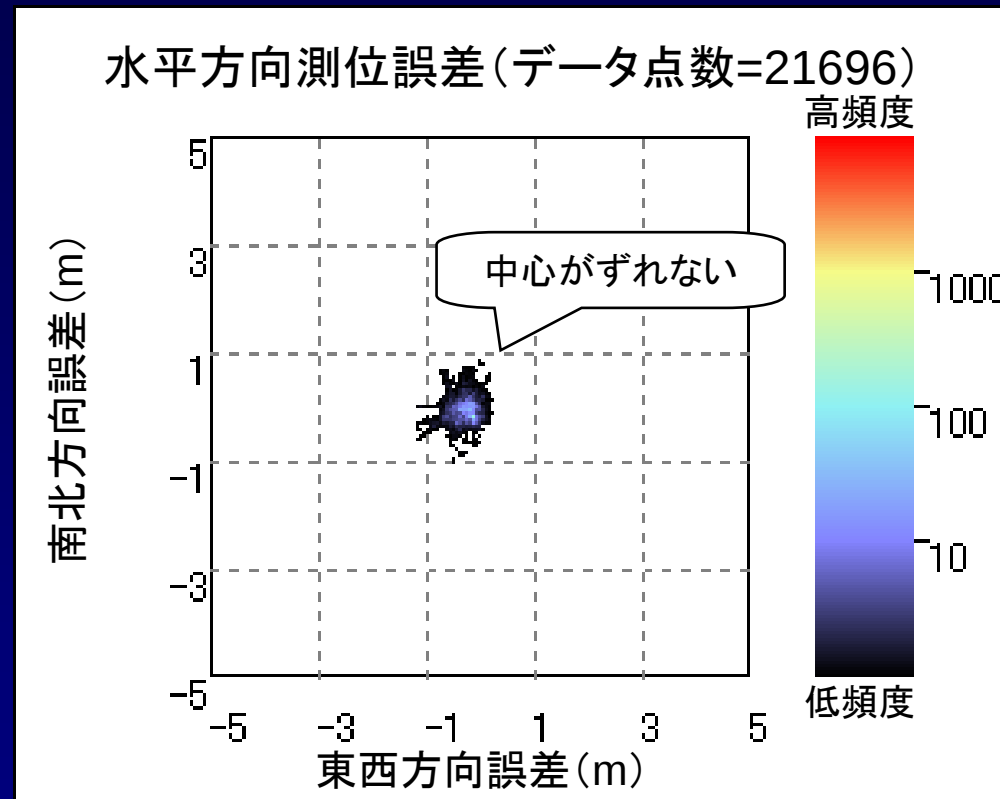
ETS-VIIIによる実験(結果)

2009年2月17 01:21:39~07:23:14 UTC (約6時間)



GPS単独測位

測位精度(水平方向) 1.221 m
(垂直方向) 4.043 m



L1-SAIF補強あり

測位精度(水平方向) 0.412 m
(垂直方向) 0.464 m

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衛星について、測位性能を改善するための補強情報を提供する。
 - 補強信号L1-SAIF信号については、国土交通省の委託を受け、独立行政法人電子航法研究所が開発を担当。
- L1-SAIF実験局:
 - 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。
 - H21年度までに性能試験・JAXAとの接続稼動試験を完了し、衛星の打上げに向けた準備を整えた。
 - 今夏の衛星打上げ後、秋頃までに初期チェックアウトを完了し、それ以降に技術実証実験を実施する。