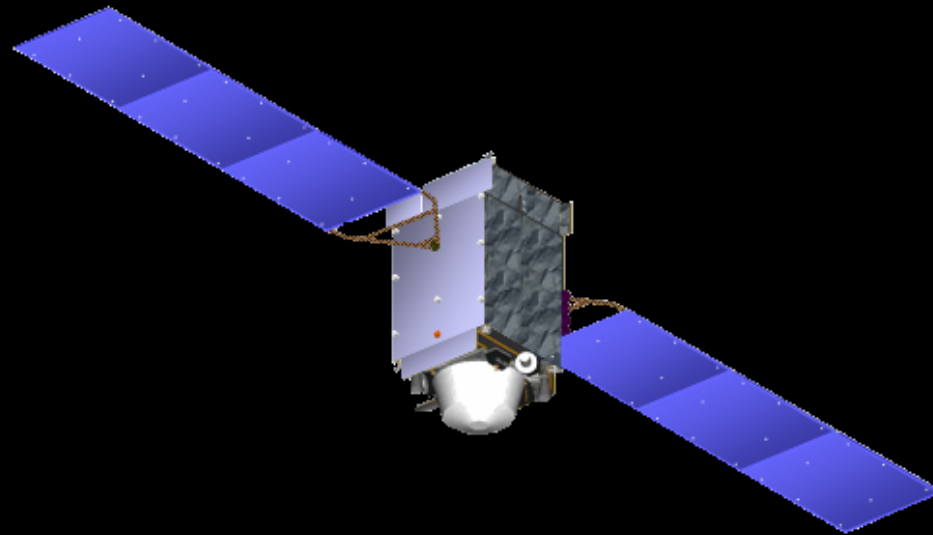


16. 準天頂衛星L1-SAIF実験局の構成

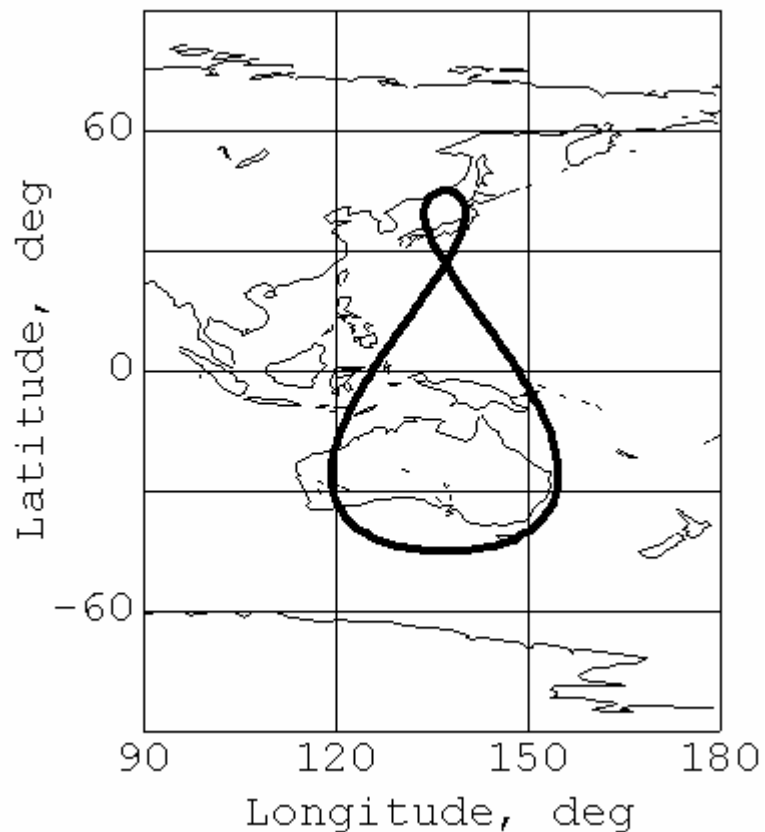


坂井 丈泰・福島 荘之介・武市 昇・伊藤 憲
通信・航法・監視領域
(高精度測位補正技術開発PT)

Introduction

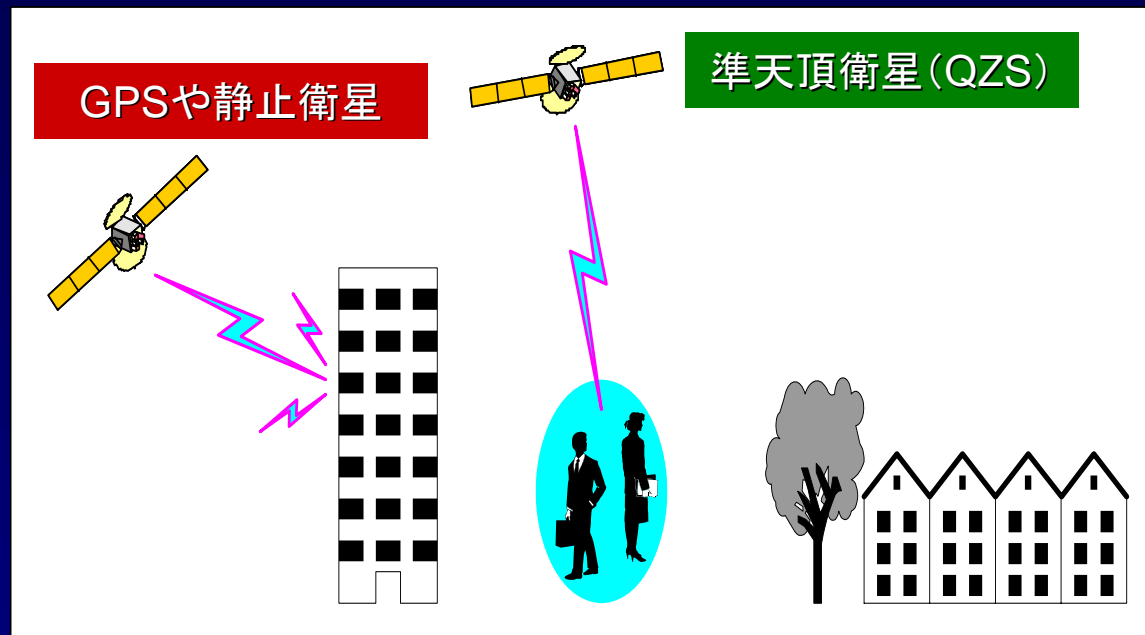
- 準天頂衛星システム (QZSS) :
 - 補完信号 (GPS L1C/L2C/L5 とほぼ互換) に加え、補強信号 (L1-SAIF、LEX) を放送。
 - L1-SAIF (Submeter-class Augmentation with Integrity Function) 信号を GPS/SBAS L1 周波数で放送。LEX 信号は Galileo E6 と同じ周波数。
 - L1-SAIF 補強信号: 広域ディファレンシャル補正情報、インテグリティ情報、測距機能を提供。
- 電子航法研究所は L1-SAIF 実験局の開発を担当:
 - L1-SAIF 信号の設計: SBAS 信号と同一の RF 信号特性。
 - SBAS 信号の上位互換となるようメッセージを設計。
- L1-SAIF メッセージ生成装置 (L1SMG) :
 - L1-SAIF 実験局 (L1SMS) のサブシステム。
 - 補強メッセージをリアルタイムに生成し、JAXA 地上局に送信する。

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

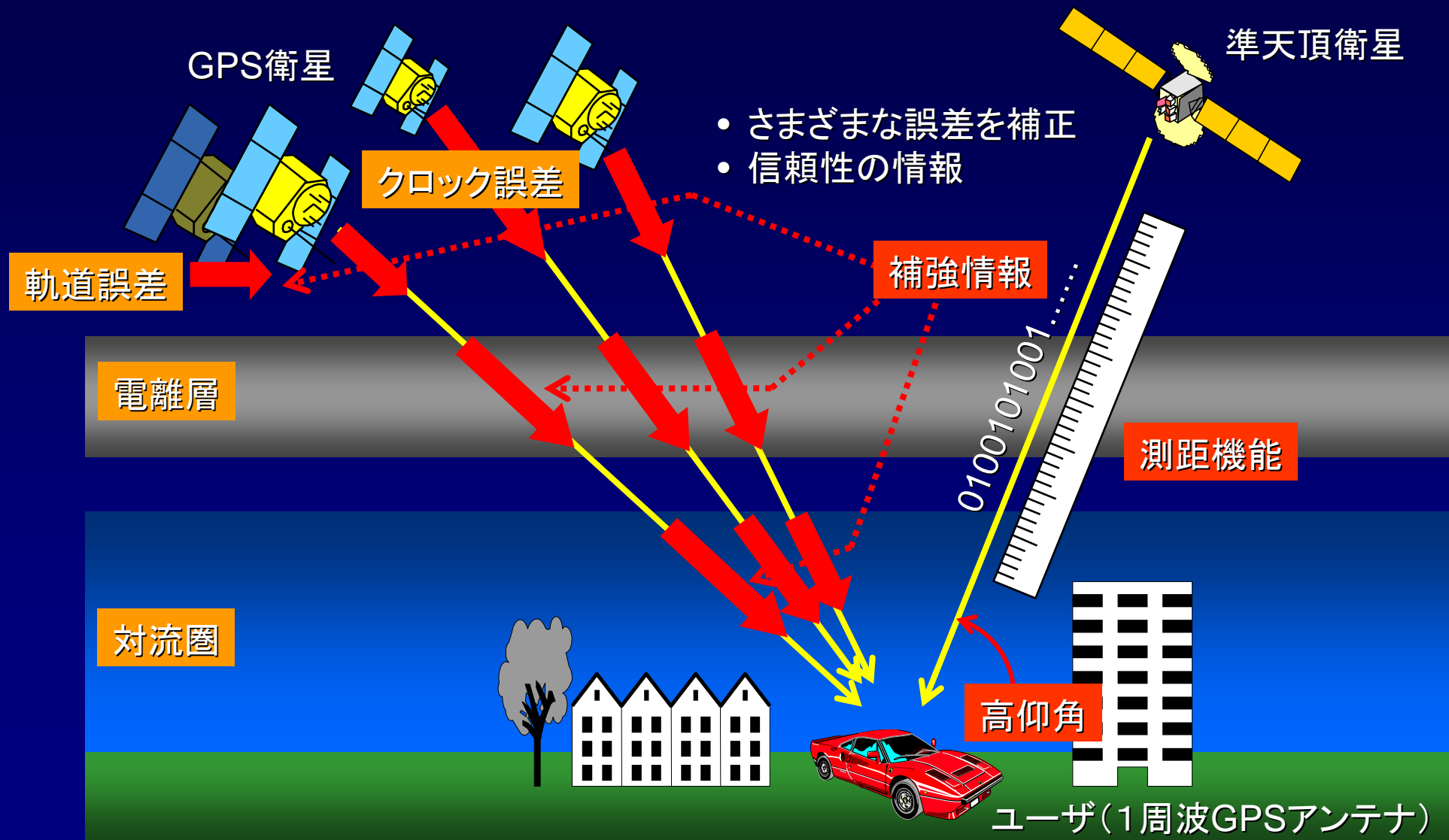


- 高仰角からサービスを提供可能。
- 山間部や都市部における測位・放送ミッションに有利。

サブメータ級補強信号(L1-SAIF)

- GPS L1周波数で放送する補強信号：
 - GPSと同一のアンテナ・フロントエンドで受信可能。
 - L1-SAIF信号 (Submeter-class Augmentation with Integrity Function)。
 - 「補完」ではなく「補強」：衛星が増えるだけではなく、補強情報も放送。
- 我が国全域を対象としたディファレンシャル補正情報：
 - 広域ディファレンシャルGPS (WADGPS)。
 - ベクトル補正方式：衛星軌道、クロック、電離層遅延をそれぞれ別々に補正。
 - 補強対象：GPS、準天頂衛星、(ガリレオ)。目標精度=1m。
 - すでに実用化されているSBASをベースとして開発：受信機側ソフトウェアの負担を抑える。
- インテグリティ情報あり：
 - 信頼性の高い位置情報を提供：移動体用途における安全確保。

サブメータ級補強の仕組み



SBAS互換メッセージ

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

メッセージタイプ	内容	更新間隔(秒)
0	テストモード(使用不可)	6
1	PRNマスク情報	120
2~5	高速補正(FC+UDRE)	60
6	インテグリティ情報(UDRE)	6
7	高速補正の劣化係数	120
9	GEO航法メッセージ	120
10	劣化係数	120
12	SBAS時刻情報	300

メッセージタイプ	内容	更新間隔(秒)
17	GEOアルマナック	300
18	IGPマスク情報	300
24	高速補正・長期補正	6
25	長期補正	120
26	電離層遅延補正(+GIVE)	300
27	SBASサービスマッセージ	300
28	クロック・軌道情報共分散	120
63	NULLメッセージ	—

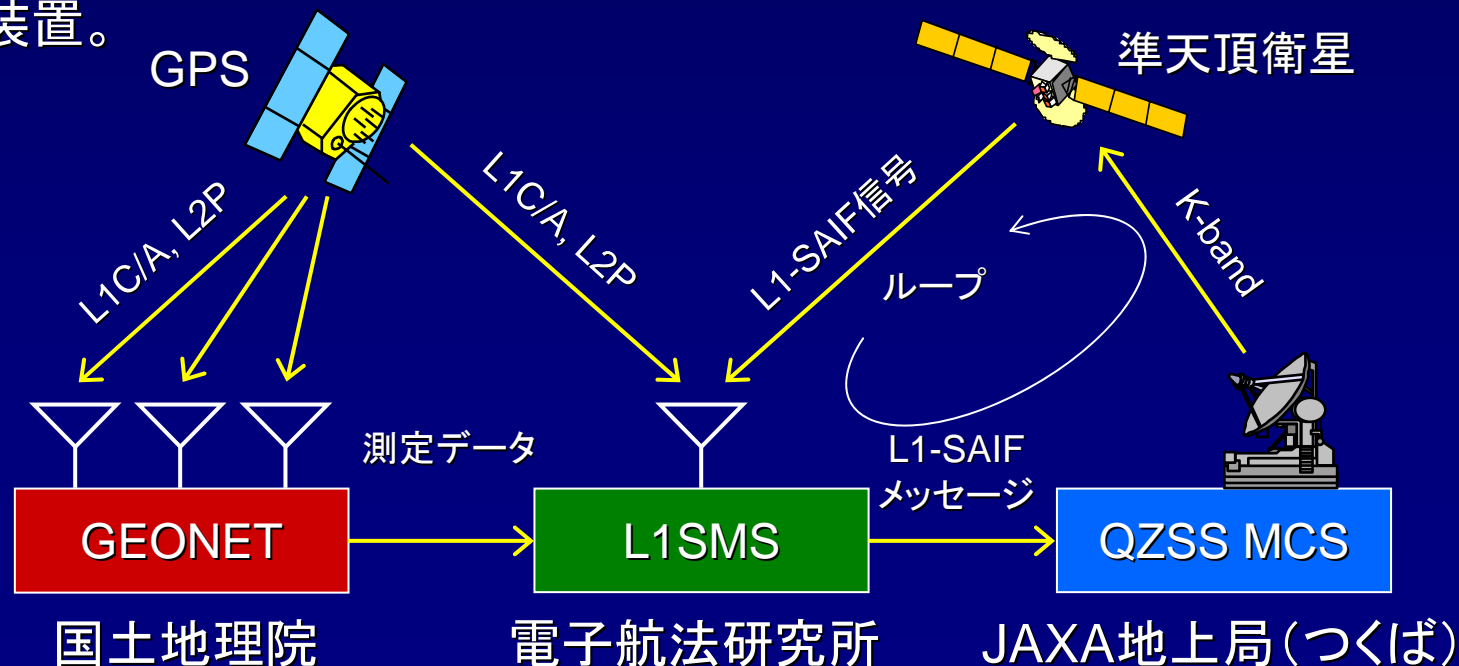
L1-SAIF拡張メッセージ(案)

メッセージ タイプ	メッセージ内容	検討状況
52	電離層伝搬遅延補正(グリッド情報)	(検討中)
53	電離層伝搬遅延補正情報(遅延量)	
54	対流圏伝搬遅延補正情報(グリッド情報)	TGPにおける垂直遅延量を放送
55	対流圏伝搬遅延補正情報(遅延量)	
56	信号間バイアス補正情報(ISC)	L1C/L2C/L5/L1Pの遅れを放送
57	軌道情報に使用	(検討中)
58	QZSエフェメリス	直交座標表現を採用
59	QZSアルマナック	(検討中)
60	広域情報	(検討中)
61	(空き)	

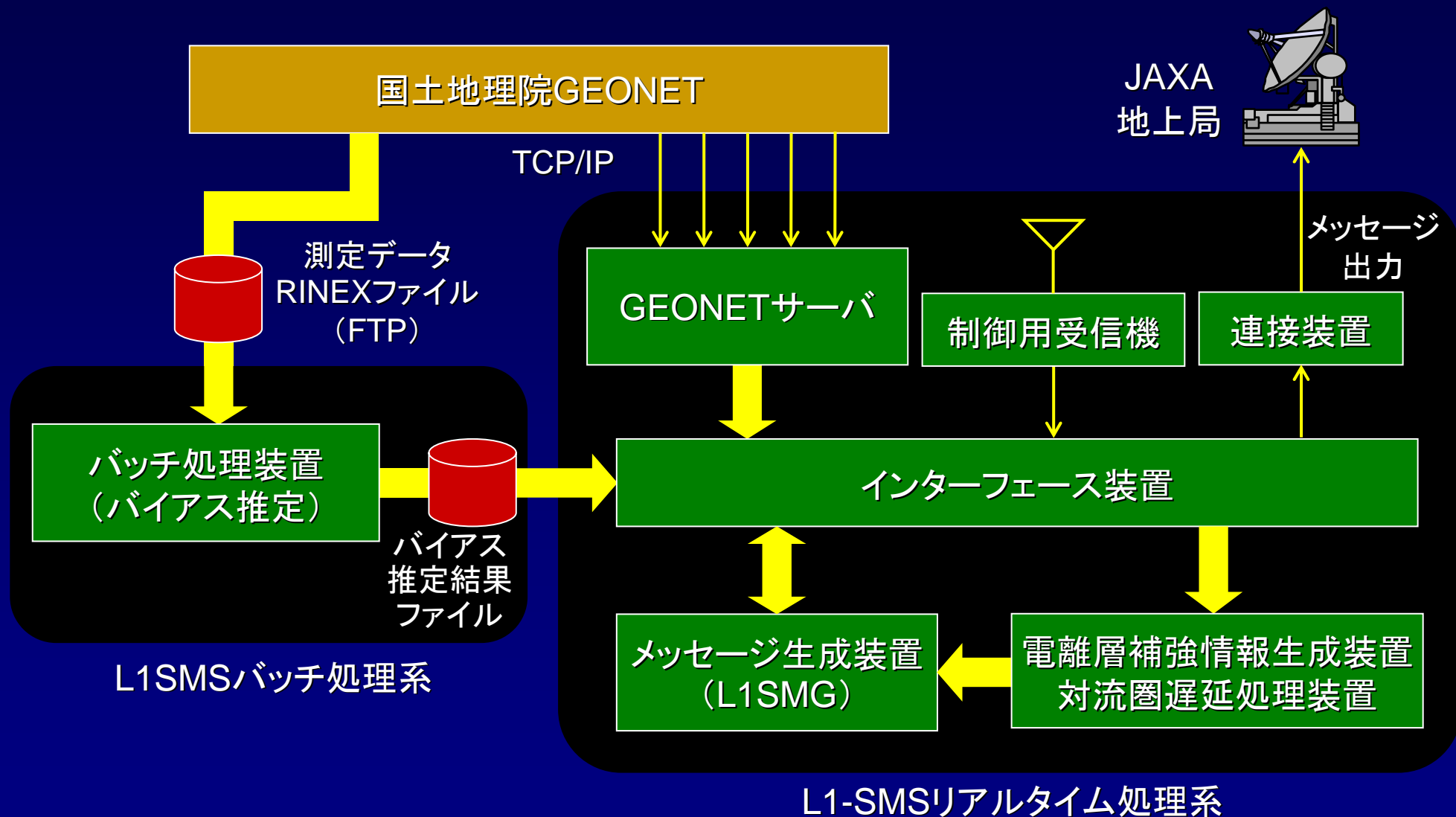
※メッセージタイプ番号・メッセージ内容は変更する可能性あり

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(宇宙航空研究開発機構)筑波宇宙センター内のQZSS地上局に送信する。
 - 電子航法研究所構内(東京都調布市)に設置。
 - サブシステム: GEONETサーバ、制御用GPS受信機、インターフェース装置、メッセージ生成装置、電離層補強情報生成装置、対流圏遅延処理装置、バッチ処理装置、接続装置。



L1-SAIF実験局の構成



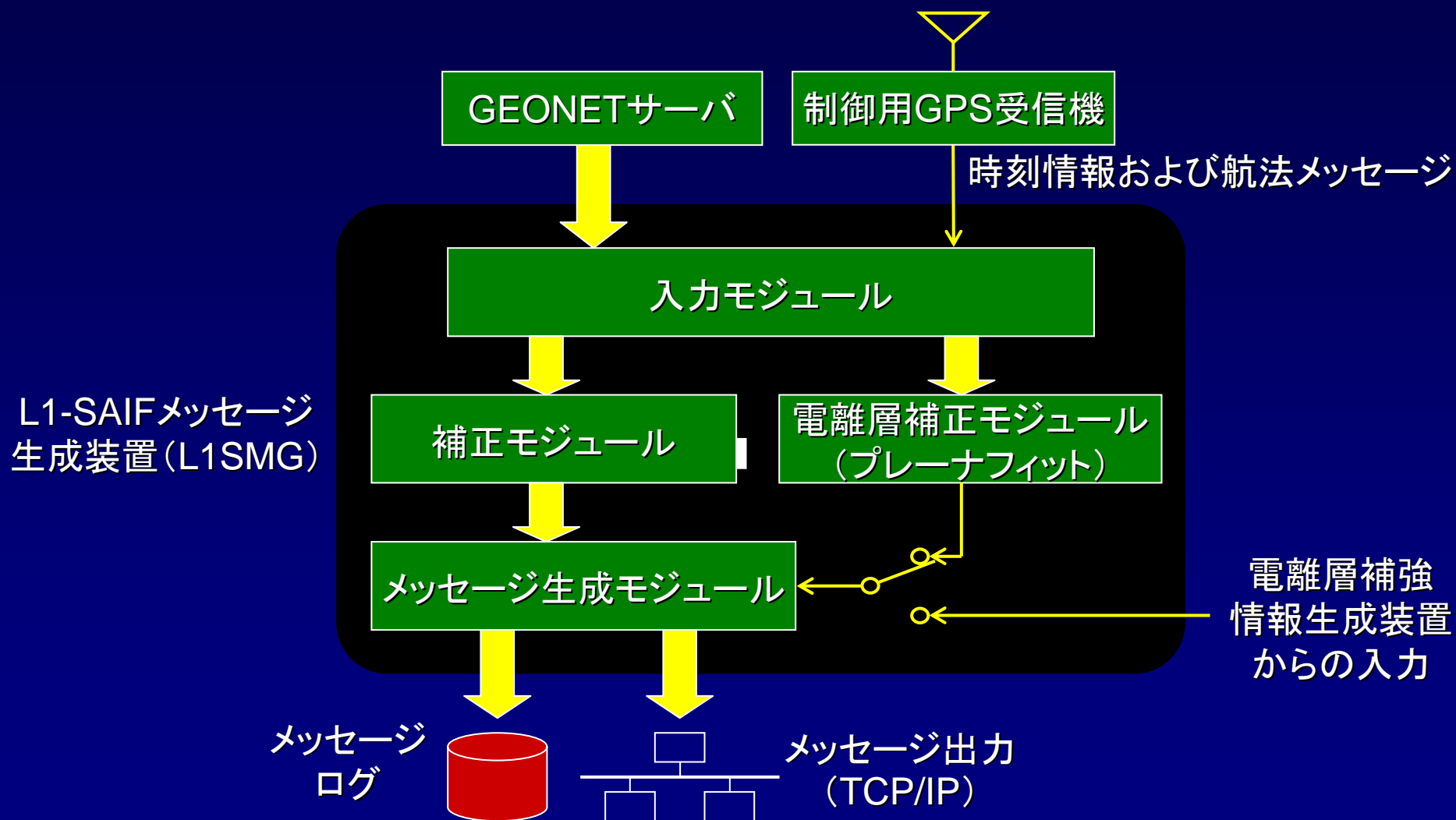
L1-SAIF実験局:サブシステム(1)

- GEONETサーバ:
 - 国土地理院GEONETより、二周波測定データを受信。
 - 出力レート:1 Hz、受信機固有フォーマットのバイナリデータ、伝送遅延は2秒以下。
 - 日本全国の1000局の電子基準点を5台の装置で処理。
- 制御用GPS受信機:
 - L1SMS内に設置、インターフェース装置にイーサネットLANで接続。
 - 目的1:インテグリティ機能の一つとして、衛星クロックの故障を早期に検出するために設置。
 - 目的2:航法メッセージを収集する(GEONETからは届かないため)。
 - 目的3:メッセージ生成装置(L1SMG)に現在時刻を提供する(L1SMG計算機の内蔵クロックを使用すると連続運転時に狂うので)。
 - NovAtel OEM-3 MiLLennium-STD受信機を使用。

L1-SAIF実験局:サブシステム(2)

- **インターフェース装置:**
 - GPS測定データやL1SMGの生成メッセージを中継する装置。
 - GEONETサーバや制御用GPS受信機に多数の計算機がそれぞれ別個に接続するのを避け、インターフェースを一ヶ所にまとめる。
 - 集配データの性質によりネットワークを分割する。
- **メッセージ生成装置(L1SMG):**
 - L1-SAIF補強メッセージを生成し、インターフェース装置に送信する。
 - モニタ局構成は可変:起動時に設定ファイルを読み込んで対応。
 - モニタ局受信機は、NovAtel、Trimble、JAVADの各メーカーに対応。RINEXファイルも入力できる。
 - 電離層補強方式:標準的なプレーナフィットアルゴリズム(MSAS/WAASで使用されているもの)を実装。
 - 対流圏補正:SBAS用の標準モデルを実装。

メッセージ生成装置の構成



L1-SAIF実験局: サブシステム (3)

- 電離層補強情報生成装置:

- 多数のモニタ局を使用して、電離層補正情報およびインテグリティ情報を生成する: 200局までテスト中。
- 補強アルゴリズムとして「残差バウンディング法」を実装。
- メッセージ生成装置はプレーナフィットアルゴリズム(モニタ局数は10局程度まで)を実装: 電離層補強情報生成装置からの情報は、あれば利用。

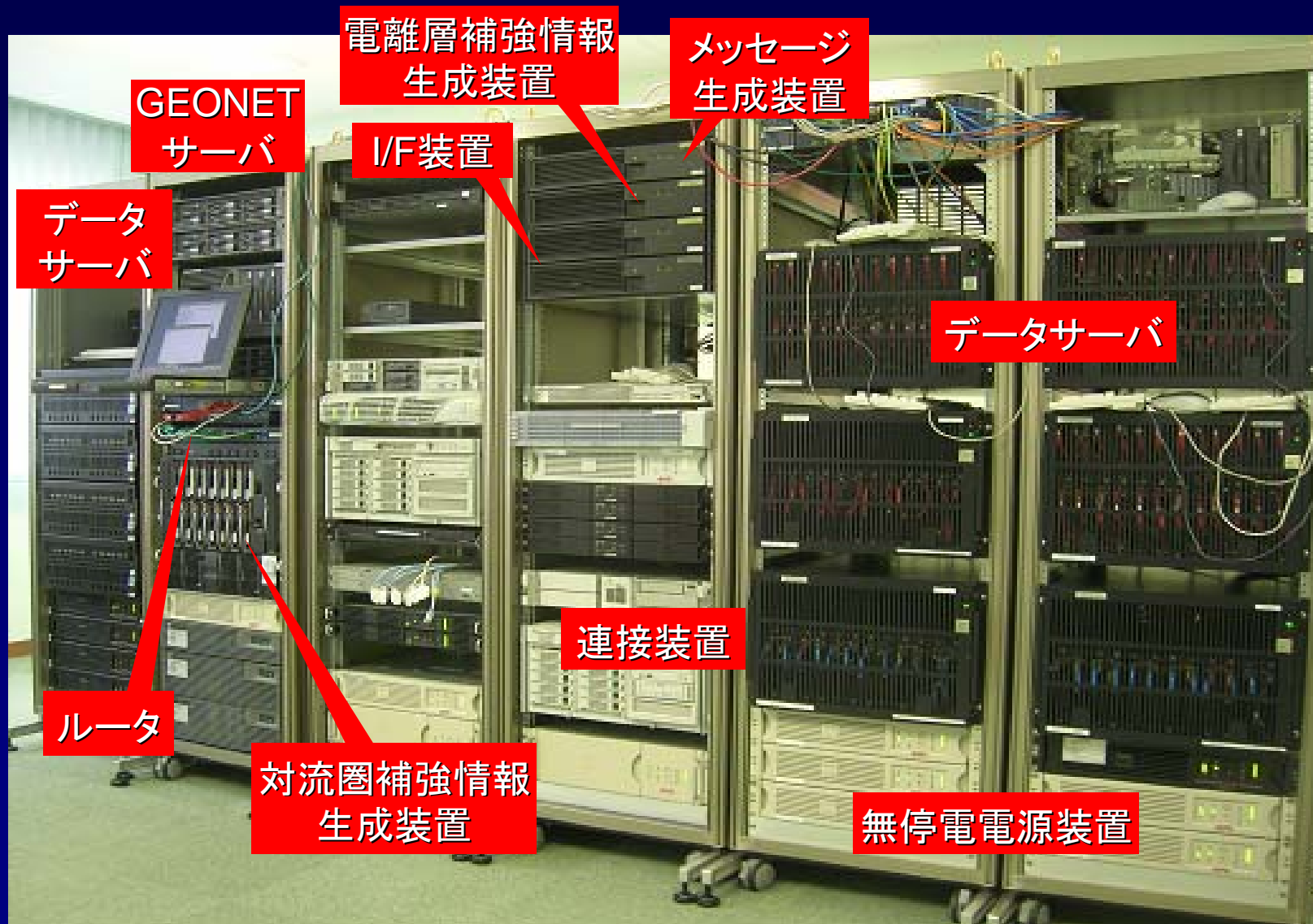
- 対流圏遅延処理装置:

- GEONET電子基準点の測定データから、対流圏遅延量を算出する。
- 準リアルタイム処理: 遅れは5分程度。
- 補強メッセージでは、TGP (tropospheric grid point) 格子点における垂直遅延量として放送する。
- この装置からの出力がない場合、対流圏遅延補正メッセージは放送しない(標準モデルを使用する)。

L1-SAIF実験局: サブシステム(4)

- **バッチ処理装置:**
 - 衛星および受信機のハードウェアに起因する周波数間バイアス(IFB: interfrequency bias)を推定する。
 - 毎日1回実行: 2日分の測定データを使用して電離層モデルを作成し、推定処理を実行する。
 - リアルタイム処理に比べ、正確かつ安定した推定値を提供。
- **接続装置:**
 - メッセージ生成装置が出力した補強メッセージを、JAXA地上局に送信するための装置。
 - ISDN回線経由でメッセージを送信、エコーバックを受信。
 - JAXAモニタ局(海外に10局程度を設置)のデータを収集。
 - 電子航法研究所-JAXA間のインターフェース仕様を策定。ISDNと光回線の2系統を予定。

L1-SAIF実験局



GEONET
サーバ

データ
サーバ

ルータ

電離層補強情報
生成装置

I/F装置

対流圏補強情報
生成装置

メッセージ
生成装置

接続装置

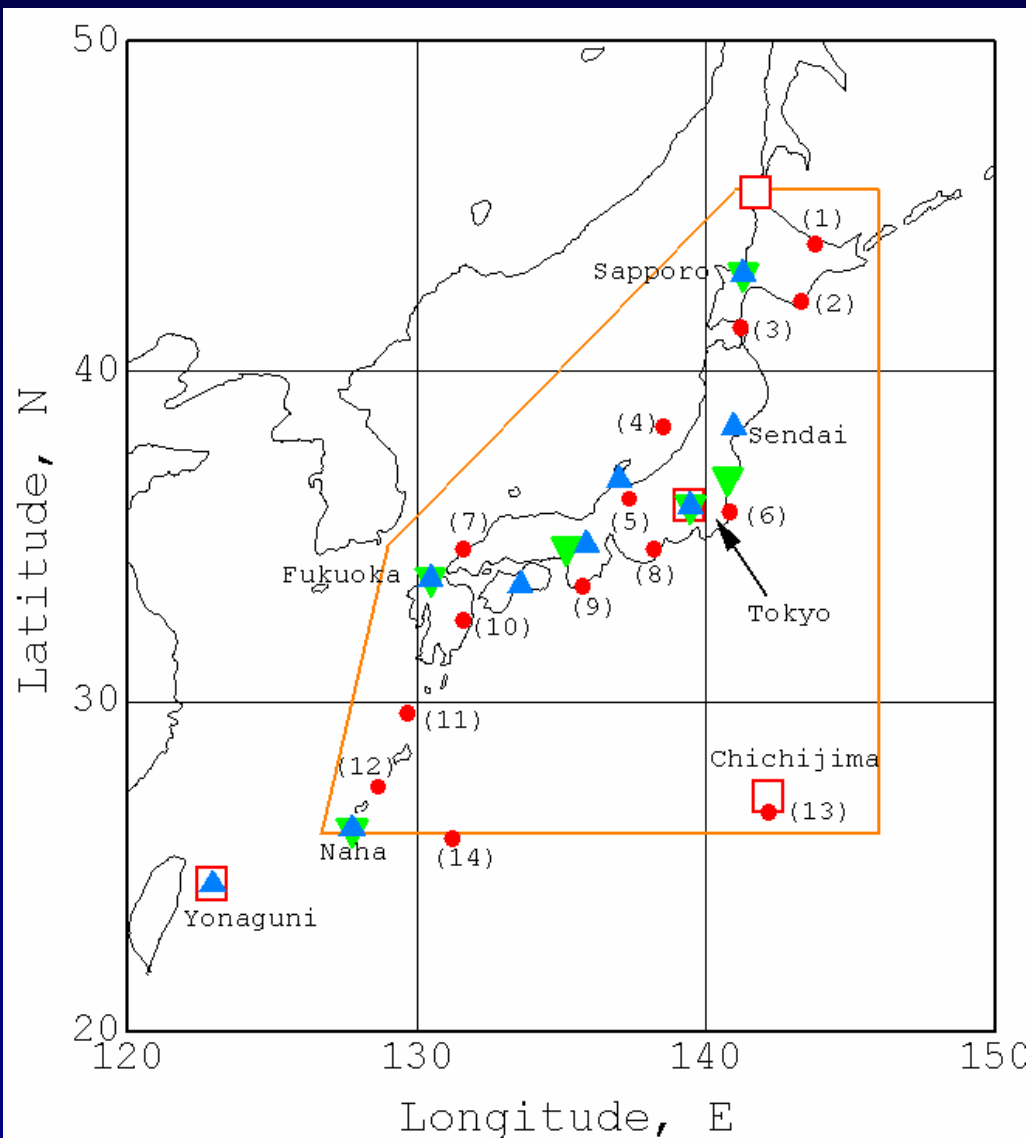
データサーバ

無停電電源装置

リアルタイム動作試験

#4

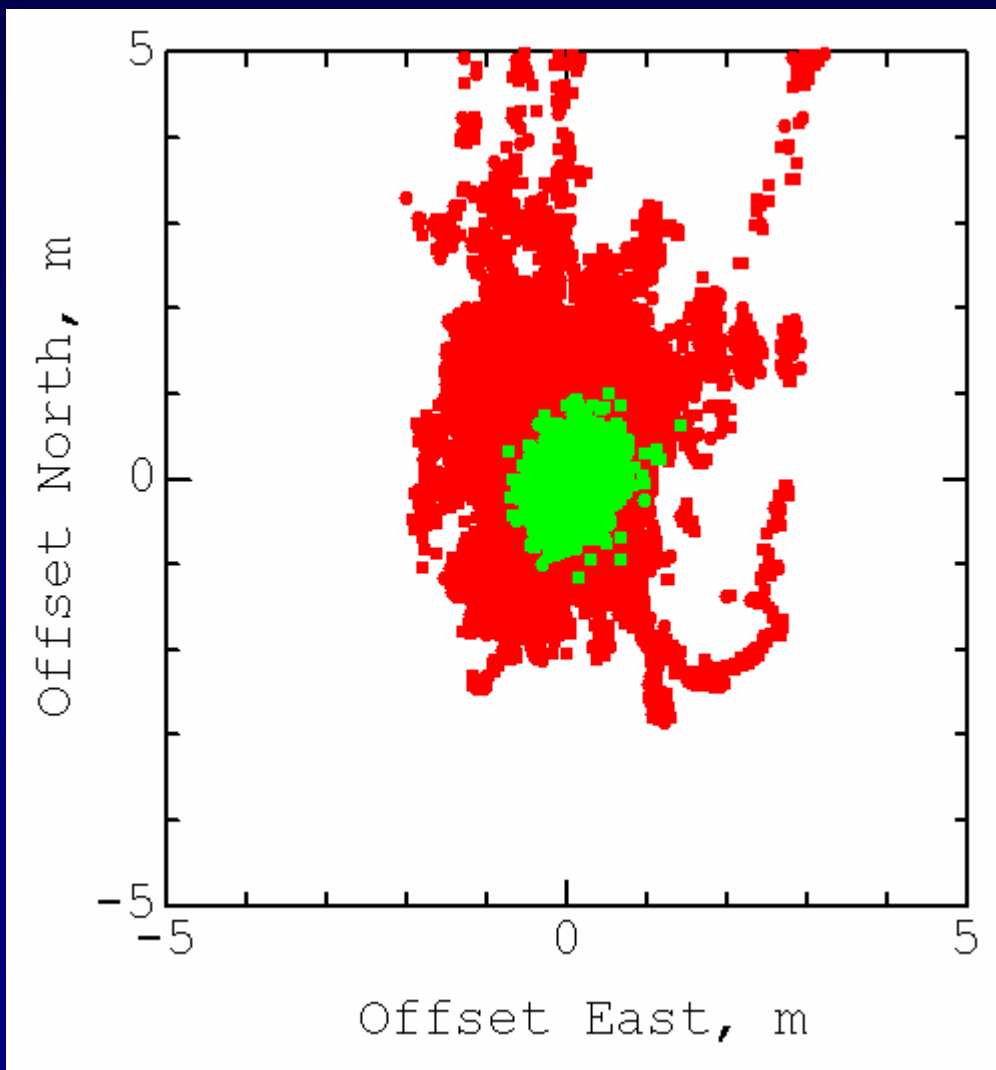
(計11局)



- #1 JAXAモニタ局相当 (計4局)
- ▼ #2 MSASモニタ局相当 (計6局)
- ▲ #3 ENRIリアルタイム局相当 (計9局)
- ユーザ位置精度評価局 (14地点)
- L1-SAIF実験領域

- 4種類のモニタ局構成にて、メッセージ生成装置の動作試験を実施。
- ユーザ位置として14地点を評価対象として、測位精度を評価。ユーザ局番号は北から南の順で付けてある。
- モニタ局およびユーザ局のいずれも、GEONETの電子基準点を使用。

ユーザ測位誤差の例

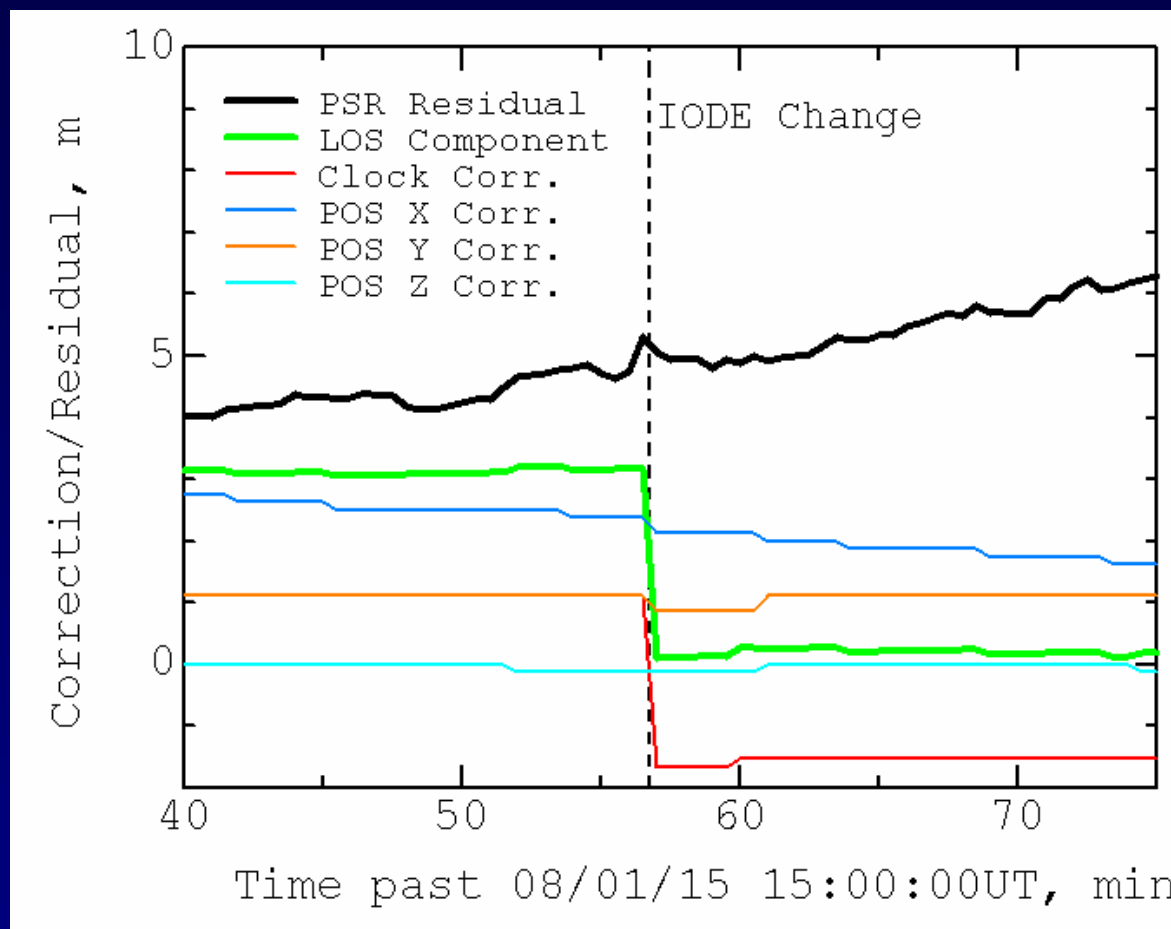


- GPS単独測位
- L1-SAIF補強あり

- 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、MSAS相当の6局構成。
- 実験期間: 2008/1/19~23 (5日間)

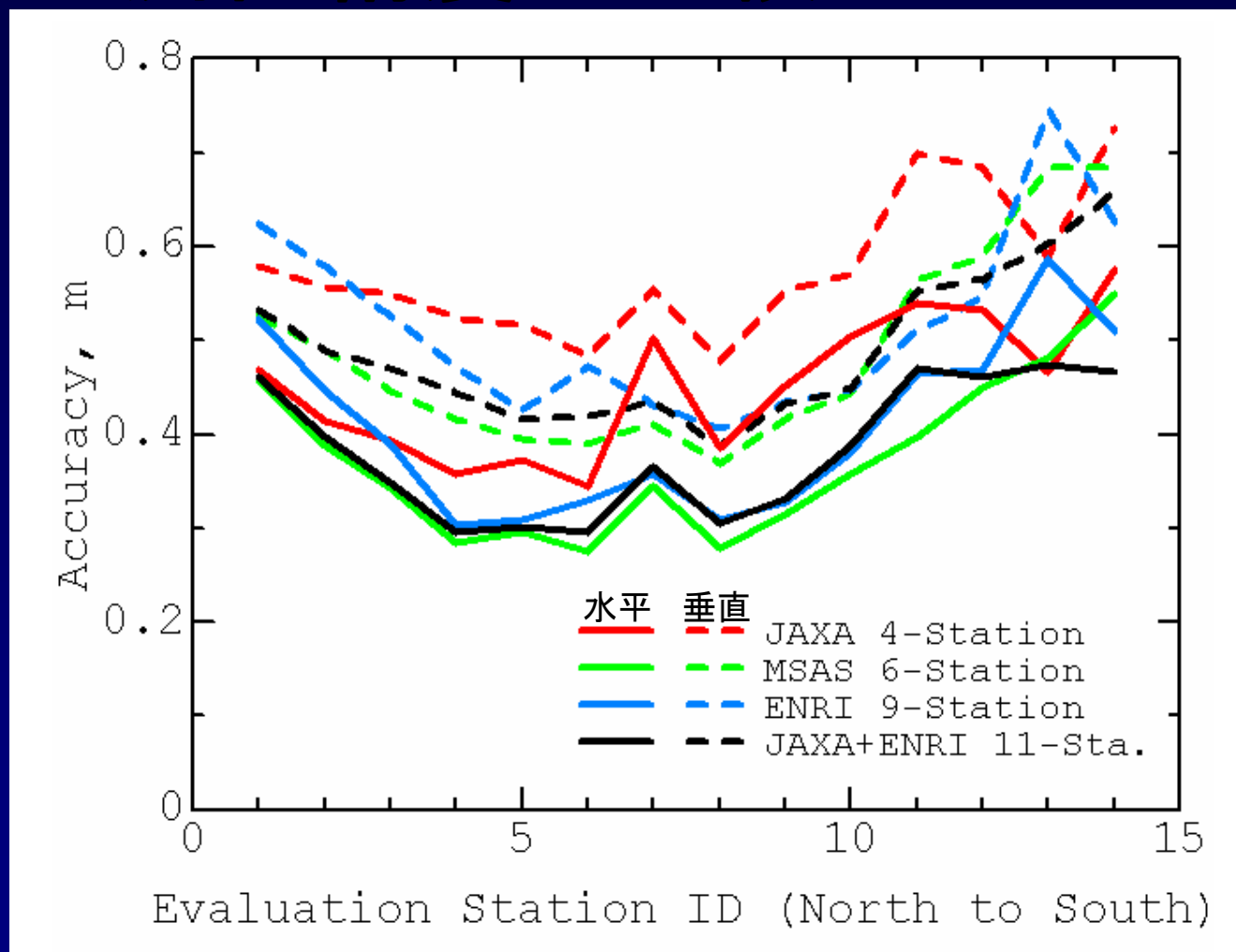
システム		水平測位誤差	垂直測位誤差
GPS単独	RMS	1.45 m	2.92 m
	Max	6.02 m	8.45 m
L1-SAIF補強	RMS	0.29 m	0.39 m
	Max	1.56 m	2.57 m

クロック・軌道補正情報



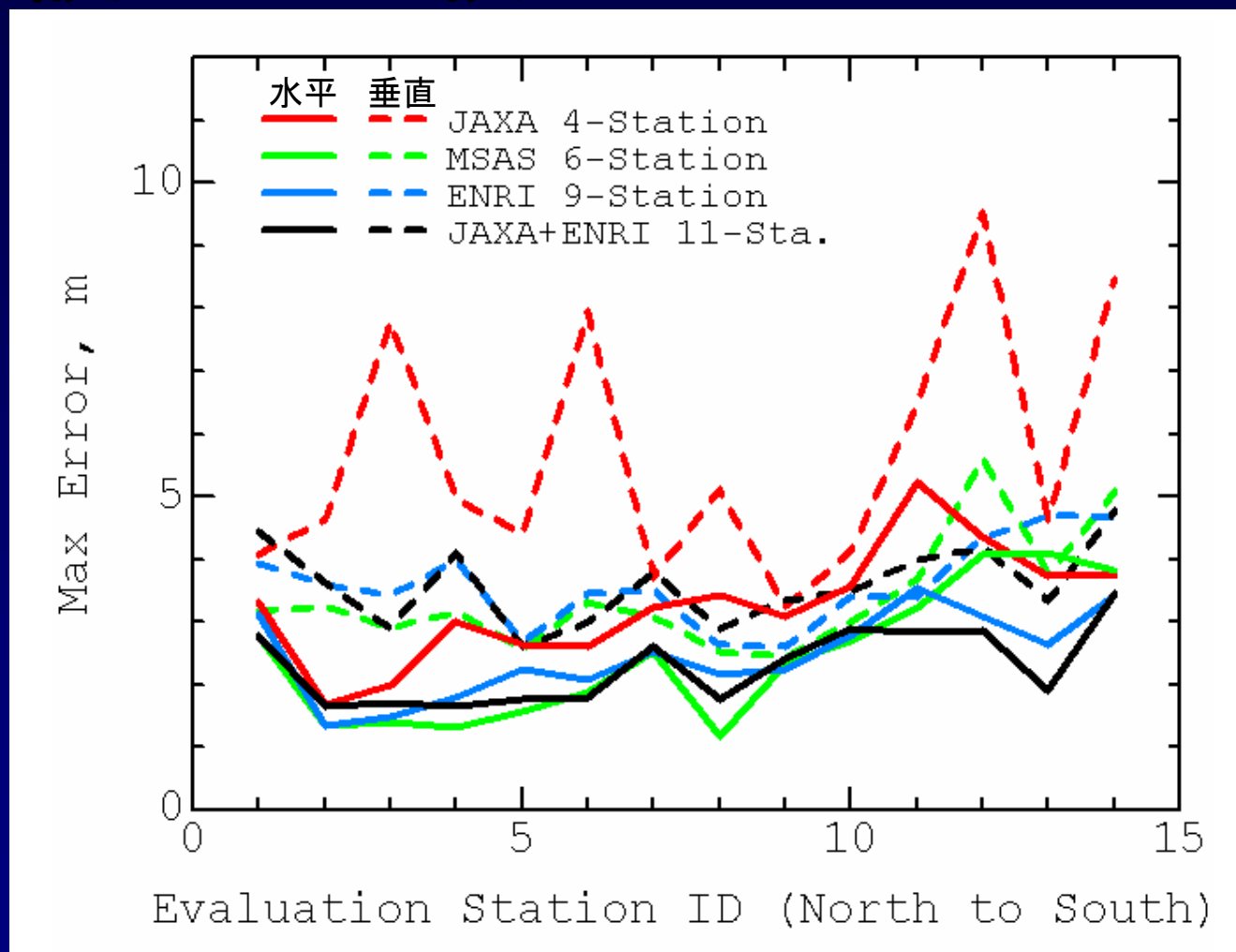
- PRN09衛星に対して生成されたクロックおよび軌道の補正情報。
- 15:56:45にIODE (航法メッセージの発行番号)が変更されたためこの前後で補正情報は不連続だが、補正後の残差(黒線)は連続的:正常な動作。

ユーザ測位精度の比較



- 少なくとも6局程度のモニタ局が必要と思われる。
- 11局構成だと、南方での測位精度が改善する傾向にある。

最大誤差の比較



- ユーザ測位誤差の最大値: 4局構成では垂直誤差に不安定がある。
- 11局構成では、南方のユーザでも最大誤差が抑えられている。

Conclusion

- 準天頂衛星L1-SAIF信号の開発：
 - GPS/SBAS L1周波数による補強信号。
 - 信号形式はSBASと同一、補強メッセージは上位互換。
- L1-SAIF実験局の整備：
 - メッセージ生成装置を含め、主要な装置は開発済み。
 - リアルタイム動作試験：メッセージが正常に生成されることを確認、またモニタ局構成とユーザ測位精度の関係を調べた。
 - 連続動作試験：3ヶ月にわたる連続動作を実施、正常に動作することを確認。
- 今後の課題：
 - JAXA地上局との接続試験。
 - 準天頂衛星シミュレータとL1-SAIFプロトタイプ受信機を接続し、受信機も含めた動作試験を実施する。