

2.6 QZSS LEX 信号の概要、評価と拡張

高須知二、海老沼拓史、安田明生（東京海洋大学）

小暮聡、宮野智行（宇宙航空研究開発機構）

ttaka@gpspp.sakura.ne.jp, ebinuma@kaiyodai.ac.jp, yasuda@kaiyodai.ac.jp,

kogure.satoshi@jaxa.jp, miyano.tomoyuki@jaxa.jp

2.6.1 はじめに

準天頂衛星システム（QZSS）は、現在、2010年夏予定の初号機衛星打ち上げに向けて準備が進められている。QZSS からユーザに送信される測位信号は、衛星の幾何学配置の改善を目的とした GPS 補完信号（L1-C/A、L1C、L2C、L5）、測位精度向上や信頼度改善を目的とした GPS 補強信号（L1-SAIF）および次世代の測位基盤技術確立のための実験用信号（LEX）から構成される^{1/1}。これらの測位信号のうち LEX 信号は中心周波数 1278.75MHz の搬送波を使った 2 kbps のメッセージ伝送機能を有しており、このメッセージを使って利用者に補正データを送信することによりデシメータ・センチメータ級の測位精度を実現するための、高精度測位補強実験の実施が計画されている。

本稿では最初に QZSS LEX の信号方式、メッセージ型式および現在予定されている高精度測位実験の概要を解説する。その後、宇宙航空研究開発機構（JAXA）実験として実施予定の精密単独測位（PPP）タイプ高精度測位の性能予測評価結果を示す。またこれらの測位補強方式の拡張として有力と考えられる、QZSS LEX 信号による次世代 PPP-RTK 型高精度測位補強方式の概念検討結果を紹介する。

2.6.2 QZSS LEX 信号の概要

2.6.2.1 QZSS LEX 信号

表 2.6-1 に QZSS LEX 信号の特性を示す^{2/}。QZSS LEX 信号の中心周波数は 1278.75MHz であり、これは欧州が開発中の Galileo 衛星の E6 信号と同一となっている^{3/}。LEX 信号の変調は Kasami 系列拡散符号を使用した BPSK (5) で、周期 4ms のショートコードと周期 410ms のロングコードを交互に切り替える仕様となっている。ショートコードには 1 フレーム 2000 ビットの航法メッセージ（LEX メッセージ）が重ね合わされる。

図 2.6-1 に LEX メッセージの構造を示す。LEX

メッセージは 49 ビットのヘッダ、1695 ビットのデータ部と誤り検出・訂正用 256 ビットのリードソロモン符号の計 2000 ビットで構成される。このうちヘッダはメッセージ先頭を示す 32 ビットのプリアンブル、送信衛星識別用 8 ビットの PRN 番号、メッセージ種別を表す 8 ビットのメッセージタイプ ID、および 1 ビットのアラートフラグから構成される。1 フレームの LEX メッセージは 1 秒間で送信されるため高精度測位補強用補正データ用に利用可能な実効データ伝送レートは 1695bps となる。

表 2.6-1 QZSS LEX 信号特性

項目	特性
中心周波数	1278.75MHz
占有帯域幅	42.0MHz
最低信号強度	-155.7dBW (トータル)
変調方式	Kasami 系列、BPSK (5) ショートコード/ロングコード交互切り替え
ショートコード	周期: 4ms チップ長: 10,230
ロングコード	周期: 410ms チップ長: 1,048,575
航法メッセージ	ショートコード: 2000 ビット/フレーム ロングコード: データレス

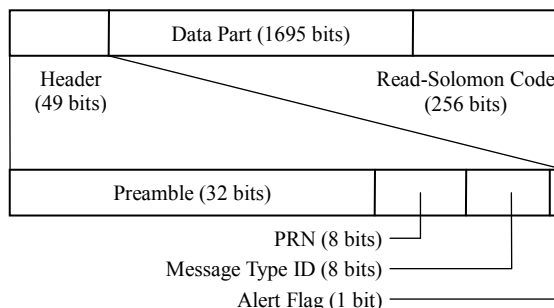


図 2.6-1 LEX メッセージ構造

表 2.6-2 に LEX メッセージタイプの定義を示す。現在のところ割り当て済みのメッセージタイプは JAXA 実験用 (タイプ 10、11) および国土地理院実験用 (タイプ 20) のみであり、それ以外は予備とされている。JAXA 実験用、国土地理院実験用メッセージを放送していない期間には、メッセージタイプ 21-255 を使って実験者が任意に作成したメッセージを放送することができる。これらのメッセージは、今後、JAXA 実験または国土地理院実験以外の高精度測位補強実験に利用されることが想定されている。

表 2.6-2 LEX メッセージタイプ定義

タイプ	内容
0-9	予備 (システム使用)
10-19	JAXA 実験用
10	信号ヘルス (35 衛星分) エフェメリスデータ & SV クロック (3 衛星分)
	信号ヘルス (35 衛星分) エフェメリスデータ & SV クロック (2 衛星分) 電離層遅延補正情報
	予備
20	国土地理院実験用
21-255	JAXA 及び国土地理院以外の実験用

2.6.2.2 JAXA 実験 (メッセージタイプ 10, 11)

LEX 信号を使って実施される JAXA 実験は主にリアルタイム PPP 型高精度測位の実証・評価を目的としたものであり、使われるメッセージタイプ 10, 11 には以下の補正データが格納される。メッセージ型式およびユーザ補正アルゴリズムの詳細は参照文献 /2/ 5.7.2.2.1 を参照のこと。

(1) エフェメリス、SV クロックパラメータ

QZSS および GPS 衛星の高精度エフェメリスおよび SV クロックパラメータ。エフェメリスは ECEF 系における衛星アンテナ位相中心位置を X/Y/Z 成分毎に元期を原点とした 3 次多項式で表現した係数および精度指標 (URA) である。SV クロックパラメータは同様に元期における衛星クロックバイアス、クロックドリフトおよび群遅延パラメータから構成される。

(2) 電離層遅延補正パラメータ

高度 350km の薄膜球殻モデルで近似した L1 鉛直電離層遅延量。電離層遅延量は近似関数原点を中心として緯度方向 1 次、経度方向 2 次の二次元多項式展開した係数で表される。ユーザはユーザ位置から電離層ピアースポイント緯度・経度を計算し、これらの係数を使って求めた鉛直電離層遅延量と傾斜係数から電離層遅延量を補正する。近似関数原点位置はメッセージに含まれるため、任意エリアの補正情報を送信可能であるが、日本列島近傍の電離層パラメータ対象領域でのみ補正データが有効とされている。

(3) 信号ヘルス

QZSS および GPS 衛星の信号ヘルスを衛星毎、測位信号 (L1、L2、L5、L1C、LEX) 毎に 1 ビットで表す。このビットが 1 だった場合には当該衛星、当該信号に問題があることを示しており、この信号を測位演算に使用できない。

表 2.6-3 にこれらのメッセージのノミナル放送周期、更新周期および有効時間を示す。

表 2.6-3 メッセージ放送・更新周期、有効時間

メッセージ	ノミナル 放送周期	ノミナル 更新周期	ノミナル 有効時間
信号ヘルス	1 秒	1 秒	-
エフェメリス	12 秒	3 分	6 分
SV クロック	12 秒	3 分	6 分
電離層補正	12 秒	30 分	-

2.6.2.3 国土地理院実験 (メッセージタイプ 20)

LEX メッセージタイプ 20 は国土地理院実験用メッセージであり、ネットワーク型 RTK-GPS 実験用に確保されている。国土地理院実験では LEX 信号を使って以下のデータを送信することにより 1 周波の静止測量ユーザが 15 分程度の測位時間で高精度測位を行えることを目標としている /4/。なお、本実験では移動体ユーザの利用は想定されていない。メッセージ型式の詳細は参照文献 /2/ 5.7.2.2.2 を参照のこと。

(1) 参照基準点観測情報

日本全国を 12 領域に分割し 1 領域に 1 つの参照基準点 (電子基準点) を配置し、参照基準点における条件のよい 8 衛星分の L1 観測データ (GPS 擬似距離および位相) を送信する。送信周

期は 30 秒である。

(2) 衛星軌道・時計情報+電離層グリッド間隔

衛星軌道は GPS の IGS 超速報暦を 12 次ラグランジェ補間で補間したもの、衛星時計は日本全国 20 点の電子基準点を用いて GPS 衛星の衛星クロックバイアスを推定したものを送信する。送信周期は 240 秒である。

(3) 対流圏遅延補正情報

全電子基準点において湿潤遅延項を PPP 法にて推定したものを対流圏遅延補正情報として送信する。送信周期は 240 秒である。

(4) 電離層遅延補正情報

(1)で示した領域毎、衛星毎の電離層遅延補正量を格子化データとして送信する。格子間隔は 0.3×0.4 度であり、送信周期 120 秒である。

なお、以上の補正データを使ったユーザ測位アルゴリズムの詳細に関しては別途公開予定とされている¹⁵⁾。

2.6.3 QZSS LEX 信号の評価

以上で解説した QZSS LEX 信号を使った高精度測位補正実験のうち JAXA 実験に関して、その補正方式の評価を実施中である。この評価の目的は、補正データ内容や型式の妥当性の確認、メッセージ送信頻度等の運用パラメータの最適化、課題や問題点の洗い出しであり、補正データの拡張方法の検討を含んでいる。

2.6.3.1 衛星軌道・時計推定精度評価

JAXA 実験で想定されているユーザ測位方式の一つは精密単独測位 (PPP) ¹⁶⁾ 型の高精度測位である。PPP では高精度衛星軌道・時計と主に搬送波位相観測データを使ってユーザ受信機位置を高精度に決定する。通常、IGS 精密暦を使った後処理解析で使われることが多いが ¹⁷⁾、近年リアルタイム高精度衛星軌道・時計によるリアルタイム PPP の利用も始まっている。また、本技術を応用して、通信衛星を使った商用測位サービスが既に開始されている ¹⁸⁾。

PPP 型測位では使用する衛星軌道・時計の品質がユーザ測位性能に大きく影響するため、本検討では JAXA 実験で使われる地上局とほぼ同等配置の地上局観測データを使用して GPS 衛星の

軌道・時計推定を行いその推定精度を評価した。主な推定条件を表 2.6-4 に、地上局配置を図 2.6-2 に示す。

表 2.6-4 衛星軌道・時計推定条件

項目	条件
推定期間	2009/5/25 0:00:00-5/31 23:57:00
推定間隔	180 秒
推定方法	拡張カルマンフィルタ (Forward)
衛星	GPS 30 衛星 (PRN1,5 を除く)
地上局	IGS 13 局
衛星運動モデル	地球重力: JGM3 8 次 他天体重力: 月・太陽 (DE405) 太陽輻射圧: CODE RPR 相対論: IERS 1996
観測モデル	対流圏: ZTD/Gradient 推定+GMF 電離層: 電離層フリー線形結合 アンテナ PCV: IGS05.ATX 局位置変動: 固体地球潮汐 他 phase-windup モデル
時計モデル	衛星: 1st-order Gauss-Marcov 受信機: White Noise
歳差・章動	IAU1976+IERS1996
ERP	同時推定、初期値: IGS Final
地上局座標	IGS Final 座標
解析 S/W	GpsTools ver.0.6.4 /9/

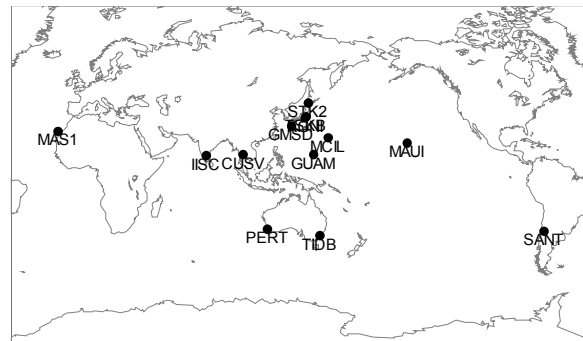


図 2.6-2 地上局配置

以上の条件で推定した GPS 衛星軌道・時計を IGS Final 衛星軌道・時計と比較しその精度を評価した。比較にあたっては推定期間先頭 2 日分は未収束期間として除外し、それ以降 5 日分を対象としている。図 2.6-3 と図 2.6-4 にそれぞれ衛星毎の衛星軌道・衛星時計推定誤差を示す。全衛星を平均として衛星位置の RMS 誤差は radial: 4.4cm、along-track: 25.1cm、cross-track: 14.8cm、3D: 29.8cm、衛星時計 RMS 誤差は 0.62ns であった。地上局の幾何学配置の制約から衛星軌道に関してはリアルタイムで利用可能

な IGS Ultra-Rapid (predicted) (公称精度:~5cm)と比較して若干精度が悪いが、衛星時計に関しては IGS Ultra-Rapid (predicted) (公称精度:~3ns) よりはるかに良い結果となっている。今後、パラメータのチューニング等により若干の性能改善が見込まれる。

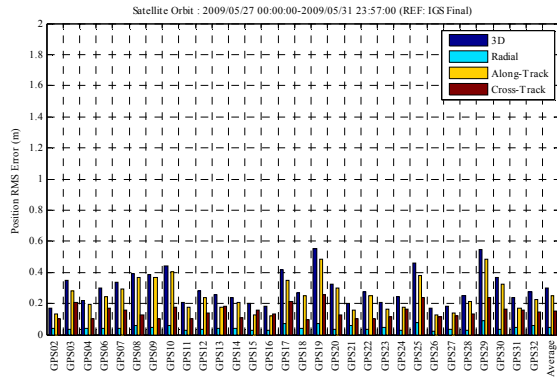


図 2.6-3 GPS 衛星軌道推定誤差

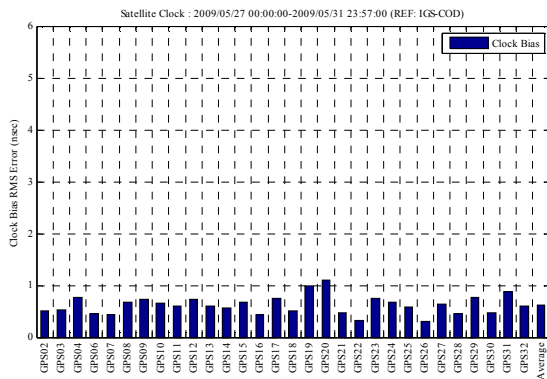


図 2.6-4 GPS 衛星時計推定誤差

2.6.3.3 ユーザ測位精度評価

前項で推定した GPS 衛星軌道、時計を基にして JAXA 実験で規定されている LEX メッセージと同等の補正データ (エフェメリス、SV クロックパラメータ) を生成して、24 時間分、2 周波の GPS 実観測データを使ってユーザ測位精度を評価した。なおこの実験ではまだ QZSS 衛星分の観測データと補正データは利用していない。

表 2.6-5 に主なユーザ測位条件を、図 2.6-5 に測位誤差の時間変動を示す。電子基準点の精密位置と比較した測位解の RMS 誤差は E: 17.0cm、N: 27.2cm、U: 64.9cm であった。ユーザ測位結果のうち 17:00 近くの精度悪化は GPS 衛星の幾何学配置の悪化に起因するものであり QZSS から送信される測位信号を使うことにより改善可能と考えられる。

表 2.6-5 ユーザ測位条件

項目	条件
測位期間	2009/5/27 0:00:00-5/27 23:59:30
測位間隔	30 秒
推定方法	最小二乗法
観測データ	電子基準点 940001 実データ
仰角マスク	15 度
衛星軌道	JAXA 実験エフェメリス型式
衛星時計	JAXA 実験 SV クロック型式
更新周期	エフェメリス: 3 分、クロック: 3 分
電離層遅延	2 周波電離層フリー線形結合
対流圏遅延	標準大気+Saastamoinen
マルチパス	キャリアアスムージング
地球潮汐	未補正

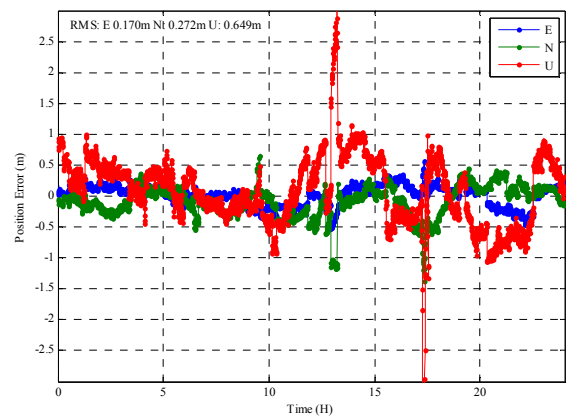


図 2.6-5 ユーザ測位誤差

2.6.3.4 今後の評価予定

現在、電離層遅延補正データの生成と電離層補正データを使った 1 周波ユーザの測位精度評価を実施中である。その評価後、QZSS 衛星自体の衛星軌道・時計推定精度評価、QZSS LEX 測位信号のレンジング機能を使った観測値をシミュレーションで生成し、ユーザ測位アルゴリズムを改良した上で 1 周波ユーザ、2 周波ユーザ毎に LEX 測位信号による高精度測位補強実験で予想される測位精度の総合評価を行う予定である。

2.6.4 PPP-RTK 型高精度測位補強システム

QZSS 初号機の初期から LEX 信号を使って計画されている高精度測位補強実験は 2.6.2 で示した JAXA 実験、及び国土地理院によるネットワーク RTK 型補強実験の 2 つであるが、LEX 信号 2kbps のメッセージ伝送性能を利用することにより、より高度な高精度測位補強を行うことが考えられる。本項では筆者らが検討中の QZSS LEX 信号を使った PPP-RTK 型高精度測位補強システムについて簡単に紹介する /10/。

2.6.4.1 PPP-RTK 型測位

通常の PPP 型測位では、搬送波位相観測値中に含まれる整数バイアス (Integer Ambiguity) を解くことができない。このため、測位解の収束時間が長く、サブデシメータ級精度の解を得るためでも通常数 10 分の連続観測が必要となる。また電離層遅延の影響をキャンセルするため 2 周波受信機の利用が必須であり、安価な 1 周波受信機を使った運用は困難であった。一方既に実用化されているネットワーク RTK 型測位 /11/ では整数バイアスを解くことにより高速にセンチメートル級精度の解を求めることができるが、補正データ伝送に携帯電話を利用するため、携帯電話サービスエリア外ではサービスが利用できないという制約があった。

近年研究されている PPP-RTK 型測位 /12/ はこれらの問題点を解決し、補正情報を誤差項目毎に分離し最適化した頻度で送信することにより非常にコンパクトな補正データを使って広範囲のユーザに高精度測位サービスを提供することを目標としている。高頻度に補正データを更新することにより静止ユーザだけでなく、移動体ユーザもサービスの対象となる。この PPP-RTK 型の補正データを QZSS LEX 信号を使ってユーザに放送できれば、過疎地域、山間部、海洋上等の従来はリアルタイムでは高精度測位が困難だった地域で、センチメートル級精度の測位が可能となる。これらは、精密農業、建機制御、地図作成、ITS 等の、特に移動体ユーザにとって有益な高精度測位サービスを提供することになり、多数の潜在利用者が想定される。

2.6.4.2 補正データの検討

QZSS LEX 信号を使った PPP-RTK 型測位の実現にあたっては、多数の検討課題があるが、まず最初に LEX 信号の限られたデータ伝送帯域を使って必要な全補正データを送信可能かを評価する必要がある。ここで、検討の前提として日本全国 (陸域) ユーザを対象とし、従来型ネットワーク RTK 測位と遜色ない測位精度を実現できることを目標し、補正データとして以下を送信することとした。

(1) 衛星軌道・時計誤差

日本から可視条件の良い 12 衛星を選定し、放送暦を基準とした衛星位置・速度誤差、衛星クロック誤差を送信する。補正データの更新頻度は衛

星位置・速度については 30 秒、衛星クロックについては 3 秒とする。

(2) 電離層遅延

日本列島陸域をカバーする約 55km 間隔の地表補正格子点 (図 2.6-6 参照) を定義し、その格子点から(1)で示した衛星との間の L1 スラント電離層遅延量を送信する。更新周期は 30 秒とする。

(3) 対流圏遅延

(2) で示した格子点のうち 110km 間隔格子点における湿潤天頂遅延量を送信する。更新周期は 30 秒とする。

(4) 衛星コードバイアス・搬送波位相バイアス

L1、L2、L5 用の衛星コードバイアス (DCB)、衛星搬送波位相バイアス (衛星初期位相) を送信する。ここで衛星搬送波位相バイアスはユーザ側で整数バイアスを解き、高速に高精度測位解を求めるために必要になる。

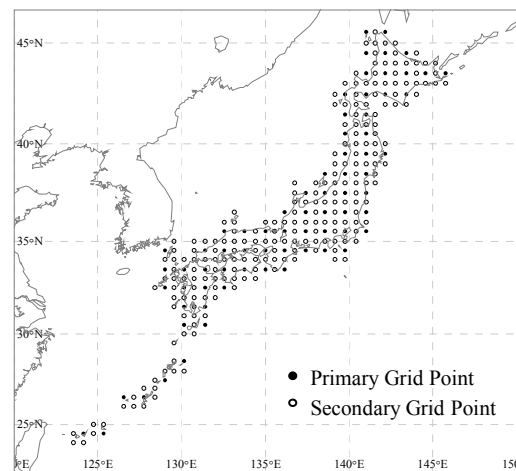


図 2.6-6 地表補正格子点構成案

以上の補正データに加えて、衛星 ID、品質管理情報、地表補正格子点の版、補正時刻、フレーム番号等が補正データとして必要になる。表 2.6-6 にこれら補正データ毎のビット数、分解能、実効レンジ、更新間隔とデータ伝送量の見積を示す。表 2.6-6 に示すように QZSS LEX 信号 1695 bps のデータ伝送帯域を使って想定される全補正データを送信可能であり、PPP-RTK 型高精度測位補強システムがデータ伝送量的に成立することが分かった。

2.6.4.3 ユーザ測位性能の検討

以上の補正データを前提としてユーザ測位性能を検討した。表 2.6-7 に QZSS LEX 信号を使った PPP-RTK 型高精度測位補強システムによるユーザ測位精度の見積を示す。ここで各測位誤差項の補正誤差には補正情報推定誤差、量子化誤差、空間補間誤差、時間補外誤差が含まれる。表 2.6-7 に示すように、概ね従来型ネットワーク RTK に遜色ない測位精度が達成できることが分かった。これらの測位性能については今後プロトタイプシステムの実装と共に実環境での評価を進めていく必要がある。

表 2.6-7 PPP-RTK 型測位ユーザ測位精度見積

誤差項	利用者受信機	
	一周波	二周波
衛星軌道/時計補正誤差	1.5 cm	1.5 cm
電離層遅延補正誤差	2.0 cm	—
対流圏遅延補正誤差	0.6 cm	0.6 cm
バイアス補正誤差	0.0 cm *1	0.0 cm *1
搬送波受信機誤差	0.3 cm *2	0.9 cm *3
衛星配置	HDOP	1.5
	VDOP	3.0
測位精度 (RMS)	水平	3.3 cm
	垂直	7.8 cm
		5.5 cm

*1 FIX 解, *2 測量級アンテナ, *3 電離層フリー LC

2.6.4.4 システム構成案

QZSS LEX 信号による PPP-RTK 型高精度

測位補強システムのシステム構成は以下の通りとする。

(1) 基準局網

基準局網としては国土地理院電子基準点を利用する。地表補正格子点間隔を考慮して従来型ネットワーク RTK システムと同様に 300 局程度の基準点を利用するものとする。

(2) データセンタ

基準局網の GPS/GNSS 観測データはオンライン回線を介してリアルタイムでデータセンタに送信される。データセンタの解析サーバはこれらのデータを一括処理し PPP-RTK 型の補正データを生成する。生成された補正データは QZSS LEX メッセージ形式に変換され QZSS 地上システムに送信される。

(3) QZSS

補正情報は QZSS にアップリンクされ QZSS LEX 信号リンクを介して地上ユーザに送信される。

(4) ユーザ

ユーザは QZSS LEX 受信機により補正データを受信する。同時に取得した GPS/GNSS 観測データと共に解析することにより PPP-RTK 解を取得することができる。これらの測位時に既存 RTK-GPS 用受信機を利用できるよう補正データから仮想基準点観測データを生成し RTCM 形式で出力する QZSS LEX 専用受信機も有効にな

表 2.6-6 PPP-RTK 型測位補強システム補正データ量見積

Correction	# of Bits (bits)	Scale Factor (LSB)	Effective Range	# of Satellites	# of Grid Points	Update Interval (s)	Band-Width (bps)	Notes
Satellite Orbit	15×3	0.002 m	-33 to 33 m	12	-	30	18	dx/dy/dz *3
	15×3	0.02 mm/s	-0.3 to 0.3 m/s	12	-	30	18	dvx/dvy/dvz *3
Satellite Clock	15	0.006 ns	-98 to 98 ns	12	-	3	60	
Ionospheric Delay	15	0.002 m	0 to 66 m	12	70 *1	30	420	Satellite-Grid Slant
	13	0.002 m	-8 to 8 m	12	210 *2	30	1092	Relative to Pri Grid
Tropospheric Delay	11	0.0005 m	0 to 1 m	-	70 *1	30	26	ZWD at Pri Grid
Satellite Code Bias	8×3	0.1 m	-13 to 13 m	12	-	30	10	L1C/A, L2C, L5 *4
Satellite Phase Bias	11×3	0.01 cyc	-10 to 10 cyc	12	-	30	13	L1, L2, L5 *4
Satellite ID + IOD	8 + 8	-	-	12	-	30	6	NavSystem ID+PRN
Quality Indicator	8×4	-	-	12	-	30	13	
Grids ID/version	8 + 8	-	-	-	-	30	1	for Ionos/Tropos
Correction Time	24	-	-	-	-	3	8	
Version, Frame No	4 + 6	-	-	-	-	1	10	
Total							1695	

*1 Primary Grid, *2 Secondary Grid, *3 Correction of Broadcast Ephemeris, *4 Relative to L1P-L2P Iono-Free LC Code Phase

ると思われる。

2.6.4.5 補正情報の生成

図 2.6-7 にデータセンタにおける補正データ生成フローを示す。従来型ネットワーク RTK システムと同様に、衛星軌道誤差、時計誤差、電離層遅延、対流圏遅延、搬送波位相バイアス等をモデル化し、基準局網の GPS/GNSS 観測データをカルマンフィルタで処理してモデルパラメータを逐次推定する。電離層遅延、対流圏遅延については地表補正格子点値に補間することにより最終的な補正データが得られる。

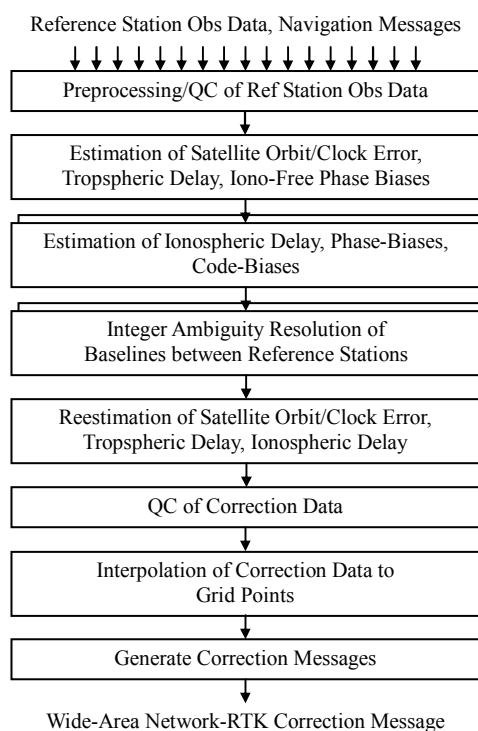


図 2.6-7 補正情報生成フロー

2.6.4.6 技術開発項目

以上、QZSS LEX 信号を利用した PPP-RTK 型高精度測位補強システムの概念検討を示した。このシステムの実現に当たっては多数の開発要素が残っており、現在これらの技術開発要素を洗い出し、クリティカルな開発項目について技術検討を進めている。

2.6.5 おわりに

以上、QZSS LEX 信号の概要、現在実施中の JAXA 実験の評価結果、次世代 LEX 実験の候補として検討中の PPP-RTK 型高精度測位補強シ

ステムについて簡単に紹介した。QZSS LEX 信号は次世代の測位基盤技術確立のための実験用信号であり、本稿で紹介した方式以外にも、今後多数の先進的な実験が行われて、最終的にユーザーにとって有益で使い易い測位サービスを提供するための技術開発がなされることが期待されている。本稿が少しでもその利用を促進する役割を果たすことができれば幸いである。

参考文献

- /1/ 小暮他, QZSS の開発状況, GPS/GNSS シンポジウム 2007
- /2/ 宇宙航空研究機構, 準天頂衛星システムユーザーインタフェース仕様書 (IS-QZSS) 1.1 版, 2009 年 7 月 31 日
- /3/ GW. Hein et al., The Galileo frequency structure and signal design, ION GPS 2001
- /4/ 黒石, 国土地理院による高精度測位補正の技術実証における LEX 信号のメッセージフォーマット, 第 4 回 QZSS ユーザーミーティング, 2008 年 3 月 27 日
- /5/ 国土地理院, 準天頂衛星による高精度測位補正に関する技術開発の概要, 第 3 回 QZSS ユーザーミーティング, 2008 年 3 月 10 日
- /6/ J.F.Zumberge et al., Precise point positioning for the efficient and robust analysis of GPS data from large networks, J. Geophys. Res., 102, No.B3, 5005-5018, 1997
- /7/ J.Kouba et al., Precise Point Positioning Using IGS Orbit and Clock Products, GPS Solutions, 2001
- /8/ K.Dixon, StarFire (TM): A Global SBAS for Sub-Decimeter Precise Point Positioning, ION GNSS 2006
- /9/ 高須他, 測位衛星用高精度軌道・時計決定ソフトウェアの開発, 第 49 回宇宙科学技術連合講演会, 2005
- /10/ 高須他, 移動体向け広域型ネットワーク RTK システムの検討, 第 52 回宇宙科学技術連合講演会, 2008
- /11/ 高須, RTK-GPS 及びネットワーク型 RTK-GPS 測位技術, GPS/GNSS シンポジウム 2007
- /12/ G.Wübbena et al., PPP-RTK: Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK Networks, ION GNSS 2005