

# 準天頂衛星による高精度測位システムの紹介

## Introduction to High-Accuracy Satellite-based Positioning System utilizing QZSS

齋藤 雅行\* 山岸 敦\* 瀧口 純一\*\* 浅里 幸起\*\*\*

Masayuki Saito, Atsushi Yamagishi, Junichi Takiguchi, Koki Asari

準天頂衛星システムは、日本独自の衛星測位システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）として、2018年4月から実用4機体制の運用が開始される予定である。準天頂衛星システムの最大の特長は、地上から見て8の字となる軌道をもつ複数の準天頂衛星群で構成し、それぞれの軌道を時間的にずらすことにより、日本およびその近海において、少なくとも1機を常に高仰角（天頂付近）に保ち、都市部や山間部においても、地物に遮られることなく天頂から補完信号と補強信号を地上に放送することが可能になることである。補完信号は、近代化GPSと互換性のある測距信号とすることで、GPSと組み合わせることにより、GPSのみの場合に比べて測位エリアと測位時間が拡大する。補強信号は、測距信号に含まれる誤差を高精度に補正する補強情報として放送し、ユーザ端末での測位計算に使用することでリアルタイムに高精度な自己位置を求めることが可能になる。

本稿では、4機体制の準天頂衛星システムの概要と準天頂衛星初号機「みちびき」を用いた利用実証用センチメートル級測位補強システム（CMAS）の評価結果について紹介する。

Japanese Quasi-Zenith Satellite System (QZSS) for positioning and navigation has been operating, and will start the practical 4-satellite service in April 2018. The QZSS has characteristically the figure-of-eight trajectory with almost one day period, and will maintain at least one satellite near the zenith viewed from Japan in the practical service. The QZSS has also the both complementary and augmentation services. The complementary service enhances availability. It increases the coverage area and the available time in urban areas and mountain regions by using the both U.S.GPS and Japanese QZSS combination. The augmentation service enhances accuracy and integrity. It broadcasts the corrections realizing centimeter-class quality. The practical service will expand the coverage into the whole Japanese land and her shelf sea.

This paper presents the 4-satellite QZSS outline and the application demonstration result using Centimeter-class Augmentation System 'CMAS' with the QZS-1 'MICHIBIKI'.

### 1. まえがき

準天頂衛星システム（QZSS：Quasi-Zenith Satellite System）は、日本独自の衛星測位システム（GNSS：Global Navigation Satellite System）として、2018年4月から実用4機体制の運用が開始される。QZSSの最大の特長は、米国が開発・運用しているGPS：Global Positioning Systemを補完し、補強する機能を持つことである。補完機能とは、近代化GPSと同様な測距信号を補完信号として、天頂近くから日本とその近海に放送することにより、GPSのみの場合に比べて、測位の信頼性（特に測位率）を向上することができる。その効果は、特に衛星視界の悪い都市部や山林地帯において顕著となる。また、補強機能とは、測距信号に含まれる測距誤差

を補正する補強情報を測距信号に重畳させて補強信号として放送することにより、ユーザ端末でその補強信号を受信し、重畳された補強情報を使って測距誤差を補正し、ユーザの高精度な自己位置を求めることが可能になることである。

本稿では、2018年4月から運用が計画されている4機体制のQZSSの概要を紹介し、QZSSの技術実証・利用実証を目的に、2010年9月に打ち上げられた準天頂衛星初号機「みちびき」を使った補完・補強の評価結果について紹介する。

### 2. 準天頂衛星システム<sup>(1)</sup>

#### 2.1 衛星測位の課題

GNSSにおける高精度な位置測定の原理は、測位衛星

から放送される測距信号をユーザ端末で受信し、測位衛星とユーザ端末間の距離を高精度に計測する。その観測量を測位衛星とユーザ端末の位置関係を表した観測方程式に代入し、複数の測位衛星による観測方程式を連立化する。そして、3次元座標とユーザ端末の時計誤差および観測量に含まれるアンビギュイティと呼ばれる波長の整数倍の波数を未知数として同時に求めるものである。したがって、測位計算には同時に5機以上の測位衛星からの測距信号を受信する必要がある。

GPSは、6つの軌道面に各々4機配置の合計24機の測位衛星と予備の測位衛星で、現在31機の測位衛星が地球を周回している。しかし、GPSは、もともとは米軍のGNSSであるため、必ずしも日本上空で最適配置になっておらず、時間帯によっては日本上空で可視測位衛星数が減少し、測位精度に影響する測位衛星の幾何学的配置(PDOP: Position Dilution of Precision)が劣化する場合があります。すべての時間帯で、高精度でかつ安定な測位ができないのが現状である。

さらに、高層ビル、高架、歩道橋、樹木等、測位衛星との見通しを遮蔽する建造物が多くある都市部では測位率が著しく劣化する。

また、測位衛星から地上のユーザ端末までの電波伝搬経路には、電離層や対流圏での電波特性の変化による電波伝搬の遅延が生じる。これによって、測位衛星とユーザ端末までの距離の測定誤差が生じ、測位精度が劣化する。

そのため、自動車や鉄道などの信頼性と精度が同時に求められる位置管理システムに現状のGPSのみで対応するには問題がある。

## 2.2 準天頂軌道

QZSSは、昇降点赤経が、“みちびき”と±135度の位置関係を持ち、離心率0.075、近地点引数270度、軌道傾斜角47度以下、軌道長半径42,164km(平均)の楕円軌道を取る。この軌道により、日本から見ると、約1日で軌道が元に戻る非対称8の字軌跡となる。この準天頂軌道衛星を複数機で構成し、時間的に軌道をずらすことにより、日本上空で常に高仰角が確保できる。図1は、準天頂軌道衛星(QZS)の地表面上の軌跡である。図2は、“みちびき”(QZS1)と今後打ち上げ予定の2機の準天頂軌道衛星(QZS2、QZS3)を組み合わせた場合の東京から見た仰角を示す。東京では、24時間常時少なくとも1機の仰角が70度以上を確保できる。静止軌道衛星は東経90度から180度のいずれかの位置に配置することになっているが、東経135度付近になった場合には、常に仰角48度付近に見ることができる。



図1 準天頂衛星の地表面上の軌跡 (IS-QZSS<sup>(1)</sup>より)

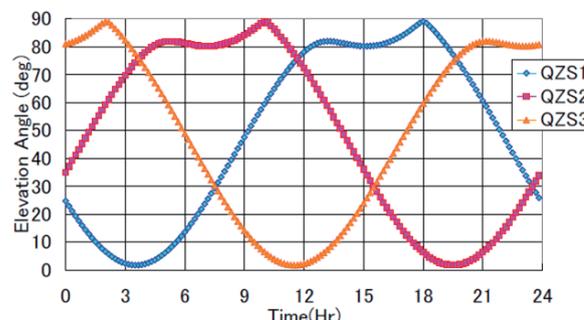


図2 東京から見た準天頂衛星の仰角 (IS-QZSS<sup>(1)</sup>より)

## 2.3 測位信号

QZSSは、GPS衛星と組み合わせ、準天頂軌道を利用して衛星のPDOPを改善することによって、都市部や山間部における測位可能エリア及び時間を拡大させることを目的とする。

そのため、QZSから放送するGPS補完に関する測位信号(補完信号)は、近代化GPSとの共存性、相互運用性を確保するため、近代化GPSの測距信号をベースとする。測距信号には、L1C/A、L1C、L2C、L5信号を用い、その信号仕様に関しては、近代化GPSからの仕様変更を最小限に抑えることとしている。

また、測位補強に関する測位信号(補強信号)としては、QZSからサブメータ級測位補強情報がLIS信号に、

表1 準天頂衛星の補完信号・補強信号仕様

信号名称	搬送波	チャンネル	PRNコードと拡散方式	信号の内容
L1C/A信号	L1: 1575.42MHz	-	GPSのL1C/A信号と同一の符号系列、BPSK(1)	GPSのL1C/A信号と同一の測位信号、50bps/50sps
L1C信号		L1CD	GPSのL1C信号と同一の符号系列、BOC/MBOC	GPSのL1C信号と同一の測位信号、50bps/100sps
		L1CP		データレス
L1S信号		L1Sa	GPSのL1C/A信号と同一の符号系列、BPSK(1)	サブメータ級測位補強情報、250bps/500sps
	L1Sb	未定	測位技術実証プラットフォーム(GEO衛星)	
L2C信号	L2: 1226.60MHz	-	GPSのL2C信号と同一の符号系列、BPSK(1)	GPSのL2C信号と同一の測位信号、25bps/50sps
L5信号	L5: 1176.45MHz	Iチャンネル	GPSのL5C信号と同一の符号系列、BPSK(10)	GPSのL5C信号と同一の測位信号、50bps/100sps
		Qチャンネル	GPSのL5C信号と同一の符号系列、BPSK(10)	データレス
L5S信号		Iチャンネル	未定	測位技術実証プラットフォーム(QZO衛星)
		Qチャンネル	未定	測位技術実証プラットフォーム(GEO衛星)
L6信号	L6: 1278.75MHz	D1/D2チャンネル	Kasami系列、BPSK(5)	センチメータ級測位補強情報、2000bpsk/250sps

センチメータ級測位補強情報がL6信号（“みちびき”では、独自の実験用信号であるLEX信号に対応）に割り当てられる。L1S信号は、250bps（補強情報の実質伝送容量は212bps）、L6信号は、2000bps（補強情報の実質伝送容量は1965bps）の伝送容量を持つ。

さらに、QZSSでは、L帯の近接した周波数域に補完信号と補強信号を配置することにより、ユーザ端末において補完信号と補強信号を同じ受信機で受信することが可能となり、ユーザ端末の小型化にも寄与できる。QZSSの補完信号と補強信号の仕様を表1に示す。

### 3 センチメータ級測位補強システム (CMAS)

#### 3.1 CMASの概要

CMAS<sup>(2)</sup>は、準天頂衛星の実用化を目指し、“みちびき”を用いたセンチメータ級測位補強システムの利用実証を目的に、一般財団法人衛星測位利用推進センター (SPAC) が開発した。製造は、SPACの委託を受け、三菱電機株式会社が担当した。当社は、その製造の一部請負と、その後の利用実証において、三菱電機株式会社を技術的に支援した。特長は、以下の通りである。

- ①電子基準点の観測データから、衛星測位における測距誤差の物理的特性を考慮して、各誤差の絶対量をリアルタイムに非差分で推定する。誤差推定のためのモデルをSSM: State Space Model、推定された成分毎の誤差の表現方法をSSR: State Space Representationと呼ぶ<sup>(3)</sup>。測距誤差を非差分で求めることにより、以下のようなさまざまな効果が得られる。
- ②ユーザ端末での測位計算に必要となる、非差分の衛星クロック誤差、衛星軌道誤差、衛星信号バイアス、電離層伝搬誤差、対流圏伝搬誤差の補正データを、それぞれの物理特性を考慮して圧縮し、“みち

びき”のLEX信号（準天頂衛星のL6信号）の2kbpsの伝送容量で日本全土にくまなく放送することができる。圧縮されたセンチメータ級の補強情報をコーデッドSSRメッセージと呼ぶ。

- ③非差分の補強情報を用いて、ユーザ端末において、さまざまな測位方式に対応できる。対応する測位方式は、相対測位に対応する従来のRTK (Real Time Kinematic)、RTKと同等な性能が実現可能で絶対測位に対応するRTK-PPP (Precise Point Positioning) および測位性能は低下するがグローバルな測位が可能なDF-RT-PPP (Dual Frequency Real-Time PPP) の各方式に対応可能である。なお、RTK-PPPは、測位精度と初期位置算出時間 (TTFF: Time To First Fix) において、従来のRTKと同等である。また、日本全国の電子基準点の現在位置 (F3解) を参照値 (真値) として補強情報を生成するため、現在位置として求めた測位結果から元期座標への高精度な変換が可能である。

#### 3.2 SSR方式

CMASにおいて生成される補強情報は、DGNSS (Differential GNSS) やRTKなどの衛星測位における補正データのインタフェースを規定しているRTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services) 標準規格を基本にしている。そのうち特に、CMASでは、RTCM 10403.1 Amendment 5<sup>(4)</sup>で初めて規格化されたSSRに対応している。SSR方式は、従来のDGNSSやRTKが基準点 (座標) を基準とした相対的な補正データであるのに対して、基準点には依存しない絶対量としての補正データと定義される。

図3に衛星測位における精度劣化の原因となる誤差要因を示す。衛星測位による測位精度は、衛星に依存する

衛星クロック誤差、衛星軌道誤差、衛星信号バイアス、信号の大気伝搬中の電離層伝搬誤差、対流圏伝搬誤差および、ユーザ環境によるマルチパス誤差、可視衛星数・配置により影響を受ける。SSR方式は、ユーザ環境による地上特有の誤差要因以外の、衛星クロック誤差、衛星軌道誤差、衛星信号バイアス、電離層伝搬誤差、対流圏伝搬誤差に対する補正データを配信するための、フォーマットを規定するものである。

CMASでは、日本全国に均一に配置された電子基準点のGNSS観測データから、このSSRデータをほぼ毎秒生成する。生成されたSSRデータは、センチメートル級の測位精度に対応するもので、データ容量は、数十Mbyte/hourに及ぶ。

### 3.3 補強情報<sup>(5)</sup>

“みちびき”では、センチメートル級補強情報を実験用としてLEX信号(L6信号)を用いて配信している。LEX信号(L6信号)は、伝送帯域が2kbps(補強情報の実質伝送容量は、1695bps)と少ないため、LEX信号(L6信号)で配信するためには、精度を損なわずにSSRデータを1/1000程度に圧縮する必要がある。

圧縮では、空間的・時間的にデータの削減を実施する。表2に補強情報の構成を示す。時間的圧縮として

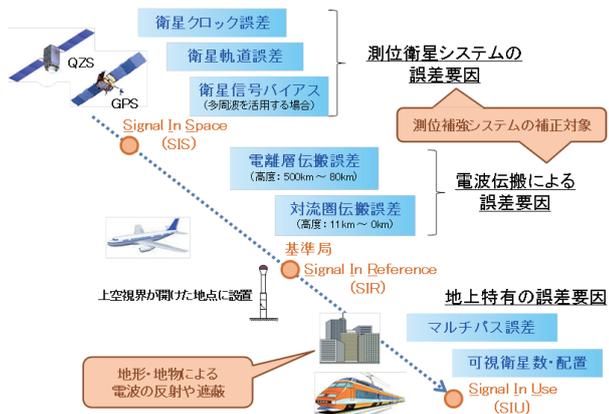


図3 衛星測位の誤差要因

表2 補強情報の構成

項目	配信情報	更新周期(秒)
測位衛星	衛星高速補正(主にクロック誤差)	5秒
	衛星長期補正(主に軌道誤差)	30秒
	衛星信号バイアス補正	
大気圏伝搬	電離層伝搬補正 対流圏伝搬補正	30秒
インテグリティ	測距精度指標(SSR URA)	
その他	プリアンプル, GPS時刻, IODE, PRN	

は、衛星クロック誤差などの衛星高速補正は5秒で更新し、衛星軌道誤差などの衛星長期補正、衛星信号バイアス補正、電離層伝搬補正、対流圏伝搬補正は30秒で更新する。また、空間的圧縮としては、約50km間隔のグリッドを日本全土に配置し、位置に依存する大気圏伝搬に対する補正データを各グリッドに割り振る。この圧縮により生成されたコーデッドSSRメッセージの伝送容量は、付加情報を含めて2kbpsとなる。

### 3.4 ユーザ端末

ユーザは、“みちびき”からのLEX信号(L6信号)を受信することにより、既知点の基準点を設置することなく、センチメートル級測位補強サービスを受けることができる。また、LEX信号(L6信号)は、補完信号であるL1、L2、L5帯と近い周波数にあるため、アンテナと受信機を同一にすることが可能である。従来のネットワーク型RTKで使用されている携帯電話による補正データの配信に対して、装置の小型化に有利で、利便性が高い。

ユーザ端末では、センチメートル級の補強情報メッセージを受信し、時間的・空間的に伸長して、測位計算に使用する。空間的に伸長する場合は、場所依存成分のグリッドを選択し、内挿するため、概略の自己位置が必要となる。伸長された補正データは、非差分の絶対量となる。処理フローを図4に示す。

詳細な仕様についてはSPACが整備するインタフェース仕様書(適用文書<sup>(5)</sup>)を参照のこと。

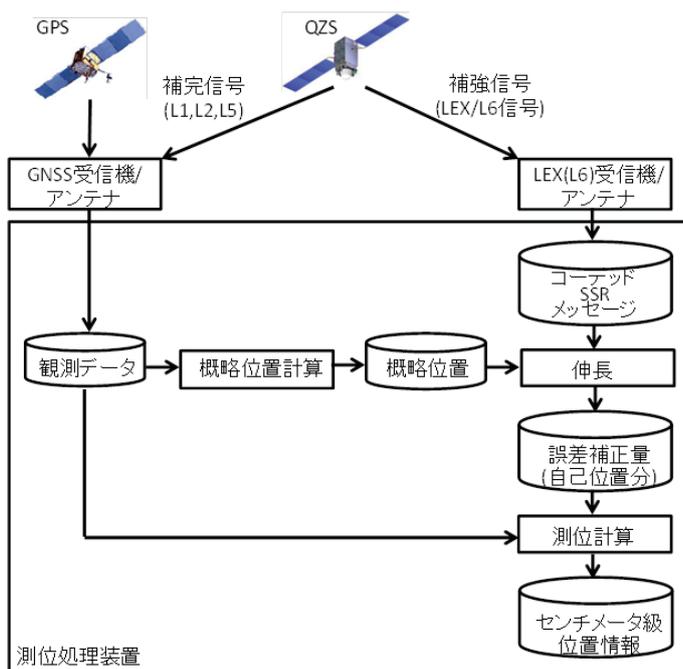


図4 ユーザ端末処理フロー

#### 4. みちびきを用いた利用実証

本システムにおける精度の評価においては、国際規格ISO「Geographic Information」、日本工業規格JIS「地理情報」、および公共測量の作業規定の準則に基づき、位置の品質評価をRMS誤差（Root Mean Square Error）で表現する。RMS誤差は標準偏差と偏りからなる。なお、水平方向の誤差は、二次元水平方向の距離誤差（DRMS：Distance RMS）で表現する。

##### 4.1 静止測位精度

日本の最北端を含む「北海道西」、最南端近傍の「沖縄」、日本中央部の日本海側および太平洋側として「北陸」および「関東」の4地域において、CMASの位置の品質評価を行った結果、電離層擾乱の大きい沖縄においても、開発目標の水平3cm（DRMS）、垂直6cm（RMS）を十分に満足した。各地域における測位精度を表3に示す。

また、電離層が昼間と夜間において異なった特性を有するため、日周変動を評価した結果、CMASは日周変動に対しても均一な品質を有することを確認した。測位精度の日周変化を表4に示す。

##### 4.2 移動体測位精度

高精度な位置計測が可能な自動追尾トータルステーションを用いた移動体位置のレーザ計測値を参照値とした絶対評価を実施した。評価結果を、表5に示す。開発目標（水平6cm（DRMS）、垂直6cm（RMS））を十分に満足している。自動追尾トータルステーションの使用には、整備された環境が必要となる。図5に、今回の実

験に使用した市街地を模擬した移動体の試験場（JARI殿所有）を示す。

##### 4.3 補完と補強の相乗効果<sup>(6)</sup>

“みちびき”からの測位信号を受信できる受信機を搭載した高精度GPS移動計測装置（Mobile Mapping System：MMS）を用いて、高層ビルを含む繁華街である東京丸の内にて測位精度・測位率を計測する実験を実施した。MMSは、屋根に“みちびき”とGPS衛星の信号を受信する測位信号受信アンテナや測位信号と複合して測位精度を改善して、かつ、測位信号を受信できないときも継続して測位計算を実施するINS（Inertial Navigation System）および、画像情報を取得するためのビデオカメラやレーザスキャナを搭載し、車内に取得データを処理し記録する制御装置を搭載している。

実験では、丸の内をMMSで走行し、“みちびき”とGPS衛星の測位信号およびセンチメートル級の補強情報メッセージを受信し記録する。同時にINSデータも記録する。記録した“みちびき”とGPS衛星の測位信号および



図5 試験実施場所（JARI殿所有の模擬市街地）

表3 各地域における測位精度

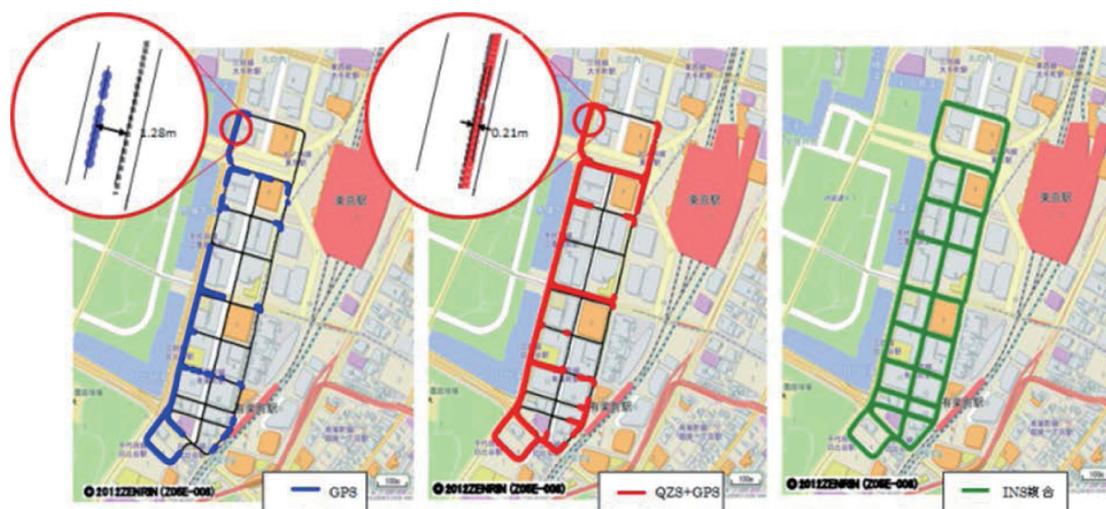
地域	標準偏差		偏り		RMS誤差		FIX率 (%)
	水平 (cm)	垂直 (cm)	水平 (cm)	垂直 (cm)	水平 (cm)	垂直 (cm)	
北海道西	0.7	0.9	0.3	0.9	0.8	1.3	99
北陸	1.1	1.6	0.7	1.6	1.3	2.3	98
関東	1.3	2.0	0.9	0.8	1.6	2.3	95
沖縄	1.1	1.8	0.8	1.7	1.4	2.6	96
平均	1.0	1.6	0.7	1.2	1.3	2.1	97

表4 測位精度の日周変化

関東地域 (藤沢)	標準偏差		偏り		RMS誤差		FIX率 (%)
	水平 (cm)	垂直 (cm)	水平 (cm)	垂直 (cm)	水平 (cm)	垂直 (cm)	
09:00:00～14:59:59	1.7	2.9	1.5	1.4	2.4	3.3	82
15:00:00～20:59:59	0.8	1.5	1.7	1.9	1.9	2.5	99
21:00:00～02:59:59	0.7	1.1	1.6	0.9	1.8	1.5	99
03:00:00～08:59:59	1.0	1.5	1.8	1.8	2.0	2.4	99
平均	1.0	1.8	1.6	1.5	2.0	2.4	95

表5 移動体による測位精度

速度 (km/h)	計測ケース	標準偏差		偏り		RMS誤差	
		水平 (cm)	垂直 (cm)	水平 (cm)	垂直 (cm)	水平 (cm)	垂直 (cm)
40	1	1.4	1.1	2.2	0.9	2.6	1.4
	2	0.9	1.6	1.1	1.5	1.4	2.2
	3	1.0	1.6	1.4	2.2	1.7	2.7
	4	0.9	1.6	1.3	1.8	1.6	2.4
	5	0.8	1.4	1.1	2.1	1.4	2.5
	平均	1.0	1.5	1.5	1.8	1.8	2.3
4	1	0.9	2.4	1.1	3.8	1.4	4.5
	2	0.8	1.4	1.0	1.4	1.3	2.0
	3	0.7	0.8	1.2	2.5	1.4	2.6
	4	0.7	1.6	1.0	0.6	1.2	1.7
	5	0.6	1.6	0.8	1.7	1.0	2.3
	平均	0.8	1.6	1.1	2.0	1.3	2.7



(1) GPS のみによる測位 (2) QZS+GPS による測位 (3) QZS+GPS+INS 複合測位

図6 都市部(東京丸の内)における精度評価 (三菱電機技報 2014年2月号<sup>6)</sup>より)

表6 QZSによる測位性能の向上

処理内容	測位率		精度rms(cm)		
	FIX率	改善度	水平	高さ	3D
GPSのみによる測位	28.6%	—	133	104	169
QZS+GPSによる測位	47.3%	1.7倍	35	27	45
QZS+GPS+INS複合測位	100%	3.5倍	—	—	—

センチメートル級の補強情報メッセージ、INSデータを使用して、後処理で、(1) GPSのみによる測位計算、(2) QZS+GPSによる測位計算、(3) QZS+GPS+INS複合測位計算、を実施した。参照値は、移動体測位として公的に認められているMMS (FKP方式) による測位結果を用いた。

なお、測定日は、2012年6月21日、測位は5Hzで実施している。

評価結果を図6と表6に示す。図6は、測位計算結果を地図上にプロットしたもので、測位信号として、それ

ぞれ(1) GPSのみによる測位計算、(2) QZS+GPSによる測位計算、(3) QZS+GPS+INS複合測位計算結果を示す。図中の黒線は参照値を示す。表6は、それぞれの測位率、測位精度を示す。GPS衛星だけの場合に対して、“みちびき” 1機追加することによって、28.6%から47.35%へ、約1.7倍測位率が改善した。さらにINSを複合することにより、100% (GPS衛星だけの場合の3.5倍の測位率改善) の測位率が達成できた。

図7に各測位地点における“みちびき”とGPS衛星のスカイプロットを示す。“みちびき”とGPS衛星の測位

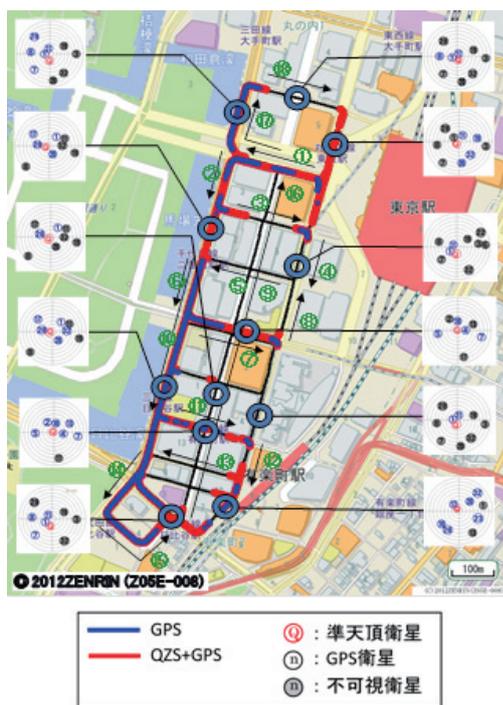


図7 計測位置と可視衛星との対応  
(三菱電機技報 2014年2月号<sup>6)</sup>より)

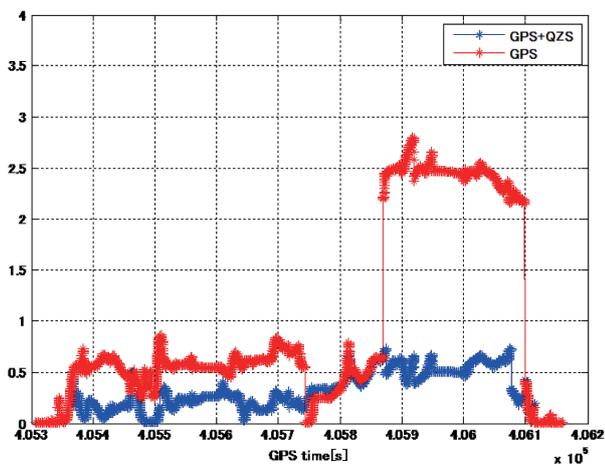


図8 マルチパス低減による精度向上

の場合は、合わせて5機以上の場合で測位可能 (Fix) となるのに対して、GPS衛星のみの場合は、GPS衛星だけで5機以上ないと測位解が得られず、測位率が減少しているのがわかる。

図8は、GPSのみの場合とQZS+GPSの場合の測位精度の時間推移を示したものである。QZSを追加することにより、マルチパスの影響を低減できることがわかる。

### 5. 準天頂衛星による高精度測位社会の実現

準天頂衛星は、4機体制の整備および将来においては持続測位が可能となる7機体制の基本方針が2011年9月に閣議決定された。この準天頂衛星システムを用いた衛星

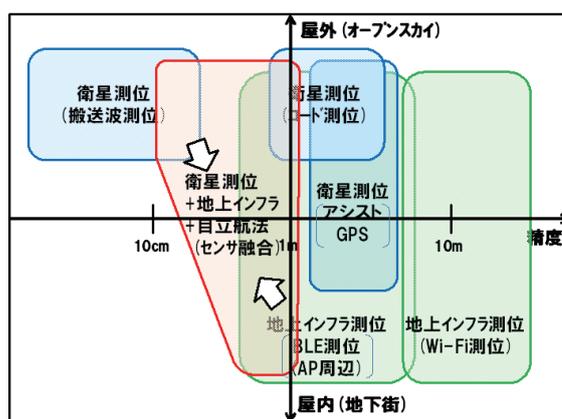


図9 高精度測位社会に向けての課題

測位に加えて、ICT (Information & Communication Technology) の発達に伴いBLE (Bluetooth Low Energy) やWi-Fi (Wireless Fidelity) 等の地上インフラを用いた屋内外の測位環境が整った高精度測位社会の基盤インフラが、東京オリンピック・パラリンピックが開催される2020年ころには、実現することが予想されている。

現状の技術課題としては、衛星測位は高精度 (センチメートル級まで可能) な反面、測位環境として衛星からの測位信号が受信可能でなければならないということが大きな制約となっている。一方、地上インフラによる測位は、測位環境を選ばず屋内測位が可能である反面、測位精度が数m以上となる。

さまざまな測位サービスに対応するには、サービスの基本となるAR (Augmented Reality : 拡張現実) による道案内や通路内の人流動体把握レベルの位置精度が必要となり、それには、1m以内で方位が正確に分かる必要がある。図9は、衛星測位と地上インフラによる測位における各種測位方式を、測位精度と測位環境を軸としたマップ上にプロットしたものである。屋内外で1m以内の測位精度が実現できる測位方式はまだ確立されていないのが現状である。

しかしながら、屋内で測位可能なBLEは従来のBluetoothより省電力で、AP (Access Point) からの電波の届く範囲を制限することにより高精度化が可能であり、今後スマートフォンでの普及が見込まれる。準天頂衛星による高精度な衛星測位と、屋内測位可能であるがAP周辺のみスポット測位となるBLEと、さらにすでにスマートフォンに標準的に搭載されているジャイロや加速度センサ、デジタルコンパス、気圧計等のセンサを統合化し、組み合わせた自立航法により、屋内外で高精度に測位可能な測位インフラが実現できると考える。

また、測位技術と同様にアプリケーション開発には、電子地図の整備が不可欠である。アプリケーションに用いる地図の基本となる電子白地図は、国土地理院により

オープンデータとして提供されている。さらに、スマートフォンを用いて電子白地図上に店舗情報やランドマーク等を重ねて表示するARによる道案内の試みは始まっている。

この高精度測位社会の基盤インフラの実現により、さまざまな測位アプリケーションの創出が期待される。サービスとしては、(1) ナビゲーション（地上および地下のシームレスなストリートビューに基づく、駅構内・駅周辺の地下通路・地下街・地上をつなぐシームレスなナビゲーションの実現）、(2) マーケティング（位置情報から得られた顧客の行動履歴から行動パターンを抽出し顧客にリコメンドを提示したり、顧客が店舗に近づくと販促情報を送信したり、さらに店舗の中に入るとポイントを付与したり、決済を実行するなど、ピンポイントでリアルタイムな販促情報のプッシュ通信によるきめ細かなマーケティングが可能）、(3) 業務管理の効率化（高精度な人流・交通流・物流の把握による、人、物、車、鉄道等の効率的かつ弾力的な配置やその運用計画が可能）、(4) 防災・災害対応（緊急災害速報や警報時に、屋内外に関わらず適切な情報を入手でき、自己位置に応じた適切な避難場所に避難できる等、災害時の的確な避難誘導が可能）、(5) 移動体の自動運転（自動車の高精度レーンナビゲーション・自動走行、鉄道車両の路線の判別や自動切り替えおよび自動運行、農耕機械・建設機械の自動運転、船舶の自動接岸が可能）を想定する。

## 6. むすび

準天頂衛星システムの概要と、その代表的特長の1つである測位補強機能の確認のため利用実証用に開発したCMASについて利用実証結果を紹介した。さらに、準天頂衛星システムが運用され、地上インフラが整備される2020年ころには、東京オリンピック・パラリンピック開催の追い風もあり、さまざまな測位アプリケーションが開発され、測位サービスが普及する高精度測位社会が現実のものとなることが期待される。その測位サービスの方向性と実現のための制約と解決策について提案した。

日本における測位分野の市場規模は、十数兆円とも言われている。準天頂衛星システムがそのトリガーとなり、測位のための地上インフラや電子地図の整備が進み、測位社会が近い将来現実のものとなることを期待する。

## 参考文献

- (1) 準天頂衛星システム ユーザインタフェース仕様書 (IS-QZSS) 1.6版、宇宙航空研究開発機構 (2014年11月)
- (2) Centimeter-class Augmentation System Utilizing Quasi-Zenith Satellite, Saito, M., et al., ION GNSS

Conference (2011年9月)

- (3) PPP-RTK : Precise Point Positioning Using State-Space Representation in RTK networks, Wübbena, G., et al., The 18th International Technical Meeting, ION GNSS-05 (2005年9月)
- (4) Differential GNSS (Global Navigation Satellite Systems) Services, RTCM Standards 10403.1 with Amendment 5, RTCM Special Committee 104 (2011年7月)
- (5) SPAC-利-100630-15、準天頂衛星システム利用実証補強メッセージ仕様書、一般財団法人衛星測位利用推進センター (2014年5月)
- (6) 準天頂衛星による測位システムの構築、齋藤、他、三菱電機技報 Vol.88 No.2 (2014年2月)

## 執筆者紹介

### 齋藤 雅行

1980年三菱電機株式会社入社。FKP方式を使ったネットワーク型GPSシステムの開発および準天頂衛星初号機“みちびき”を使ったセンチメートル級測位補強情報システム (CMAS) の開発に従事。その後、三菱スペース・ソフトウェア株式会社に転籍。現在、鎌倉事業部 準天頂プロジェクト開発支援センター 専門部長

### 山岸 敦

1992年三菱スペース・ソフトウェア株式会社入社。FKP方式を使ったネットワーク型GPSシステムの開発及び高精度測位端末の開発に従事。その後、実用準天頂の地上システム開発に従事。現在、鎌倉事業部 準天頂プロジェクト開発支援センター センター長。

### 瀧口 純一

1986年三菱電機株式会社入社。防衛宇宙機器のシステム開発を経て、GPS応用機器開発に従事。現在、三菱電機株式会社 鎌倉製作所宇宙システム第二部 準天頂測位技術専任部長として、準天頂衛星システム センチメートル級補強サービス・システムの開発に従事。工学博士。

### 浅里 幸起

一般財団法人衛星測位利用推進センター (SPAC) の職員として、利用実証用センチメートル級測位補強システム (CMAS) の開発および、準天頂衛星を活用した民生利用実証のためのシステム運用に従事。高精度衛星測位サービス利用促進協議会 (QBIC) における標準化WGの担当スタッフ。現在、SPAC第4事業部所属。