GNSS受信機　JG11の開発
Development of GNSS Receiver JG11

隈元　幹　Kan Kumamoto
鈴木達也　Tatsuya Suzuki
須子浩孝　Hirotaka Suko
奥山　隆　Takashi Okuyama
山根　卓　Taku Yamane
小田真嗣　Shinji Oda

一般論文

要　旨

昨今は安全運転支援，自動運転の普及に向け，国内，海外の自動車メーカは自動運転の実現をめざしシステムの開発中である。自動運転の実現に必要な技術の1つに，正確な測位が挙げられる。自動運転の市場において，超高精度で測位できるGNSS受信機の要求が高まっている。当社は衛星を使用した米国の全世界位置測位システムGPSの将来性に早くから着目し，開発を進めてきた。その結果として世界初のカーナビ向け車載用GPS受信機の開発に成功，そのトップシェアを築いた。新たに開発する当社第11世代目のGNSS受信機は，RTK対応とすることでセンチメートルレベルの測位精度を実現する。本稿では，現在開発中のJG11について紹介する。

Abstract

In recent years, domestic and foreign automobile manufacturers are developing systems aiming at realizing autonomous driving to promote driving safety support and autonomous driving. An accurate positioning device is taken up as one of the technologies necessary for realizing autonomous driving. In the market of autonomous driving, there is an increasing demand for GNSS receivers capable of positioning with extremely high accuracy. JRC has focused on the future of the Global Positioning System GPS in the United States from early on, and JRC has been developing GPS receivers. As a result, JRC succeeded in developing the world's first on-vehicle GPS receiver for car navigation system built a top share of it. JRC's 11th Generation GNSS receiver which newly develops realizes positioning accuracy of centimeter level with RTK. This paper introduces JG11 which is being newly developed.

1．まえがき

現在，GPS受信機はカーナビゲーションシステム（以下カーナビ）や携帯電話に搭載されている測位センサーとして一般にも知名度が高くなっている。最近では，衛星を使用した測位システムは各国で開発されており，GNSS受信機と総称されている。

当社は，船舶用航法装置の開発に長年携わってきた経験からGNSSの将来性に早くから着目，競合他社に先駆けて世界初のカーナビ向け車載用GNSS受信機の開発に成功した。そして現在も車載用GNSS受信機のトップシェアを誇る。カーナビで利用される従来のGNSS受信機の測位精度は数メートルレベルである。しかし昨今では各自動車メーカが安全運転支援，自動運転の普及に向けた開発を実施しており，特に自動運転の実現に向けGNSS受信機の要求測位精度がセンチメートルレベルになりつつある。本論文では，これらのニーズに応える高性能・高精度GNSS受信機JG11を紹介する。なお，JG11とは，使用する衛星システムがGPSのみではなくGLONASS（ロシア），BDS（中国），Galileo（欧州），QZSS（日本）等多岐にわたるため，JRC（JAPAN品質）＋GNSS受信機＋11世代という意味合いで「JG11」と名付けている。

2．現在の衛星測位システム

衛星を利用した全世界航法システムの先駆けは米国のGPSだが各国で衛星測位システムが開発されており，GPSに続きロシアも類似システムGLONASSを開発，1990年代後半の正式運用後低迷期もあったが現在20機以上の衛星で運用している。中国ではBDS（旧称COMPASS）が開発され，第一世代は4機体制で使用可能地域が限定されていたが，第二世代になり現在はアジア地域を中心にカバーし，2020年には全世界をカバーする予定である。欧州ではGalileoが開発され，現在まで打ち上げられた衛星18機のうち16機で運用中である。BDS，Galileoともに2020年を目処にBDSは35衛星，Galileoは30衛星体制でシステム構築完了の予定とされている。各国のGNSS衛星の運用状況を表1に示す。

表1　GNSS衛星の運用状況（2017年11月現在）
Table 1　Operation Situation of GNSS Satellite

	運用衛星数／打上済み衛星数	運用状況	備考
GPS	３１／３３	FOC in the world (L1C/A)	2021　L2C　24機体制 2024　L5　24機体制
GLONASS	２４／２９	FOC in the world (FDMA)	2020 FDMA→CDMA　FOC
BDS	１４／２２	FOC in the Asia area	2020 35機　FOC
Galileo	１６／１８	１６機運用中 (IOC)	2020 30機　FOC
QZSS	１／４	1機運用中 (IOC)	2018　4機体制 2023　7機体制

FOC : full operational capability　IOC: Initial Operational Capability

日本は米国のGPSに補強する形で日本上空に長く滞在する準天頂衛星QZSS（通称「みちびき」）を開発した。DGPS補正データも送信しDGPS測位も可能にしている。2017年度までは衛星1機のみで，衛星の仰角が低くなると受信しにくい状態があったが，2018年度から静止衛星1機を含む4機体制となる予定で，常時日本上空に可視衛星として1個以上存在する運用となる。米国のGPSと併用するため日本独自のシステムではないものの，2023年度からは7機体制となり，GPS衛星を使用せずQZSSのみでの測位も可能になる予定である。QZSSのみで測位する場合はカバーするエリアが全世界でないため，地域航法衛星システムRNSSと呼ぶ。RNSSは既に述べた中国のBDSの第一世代の他，フランスのDORIS，インドのIRNSSなどがある。

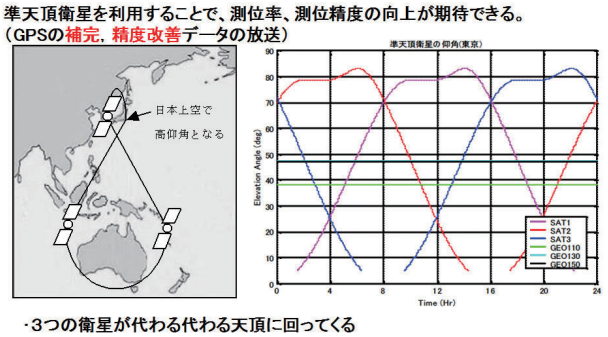

図1　準天頂衛星
Fig.1　Quasi-Zenith Satellites

いずれの衛星測位システムも現在の測位精度は衛星の受信状態の良い環境でもメートルレベルで，現在でもカーナビでGNSS受信機の測位位置をそのまま地図上に表示すれば位置誤差が大きくなる頻度は高くなる。

しかし昨今，カーナビの性能向上に伴い高精度ルート検索のほか，自動運転，車車間通信等の用途の需要が高まり，GNSS受信機自体の機能・性能向上も求められるようになった。

また，米国のGPS開発当初，米国は民間用として公開したL1C/A信号には「SA」と呼ばれるシステム誤差を意図的に混入させていたためシステム上の位置精度は100m程度であった。このSAが2000年に解除されて，システム上の誤差が10m程度まで格段にアップし，さらにGNSS受信機側も改善を重ねてきた結果L1C/A信号のみを使用する測位方法は既に限界の域に達しており，1m未満の位置精度の実現には新しい方法が必要となる。

3.　高精度GNSS受信機への挑戦

3.1　革新技術の導入

一般にカーナビはGNSS受信機の情報を常に使用しているイメージがあるが，実際にカーナビで表示される位置は大部分が自律航法及びマップマッチングで取得される位置が主で，GNSS受信機の情報は大きく外れた場合の修正に用いる補助的な役割として使用しているメーカが多い。このような動向の中で，これまでにない高精度の測位を実現するため，JG11では以下に述べる最先端の革新技術を導入した。

① マルチシステム対応を強化してGalileoも受信可。
② QZSS4機対応。
③ 従来のL1C/Aに加えL2C, L6信号の受信。
④ 測位方式に搬送波測位を採用。
⑤ RTK-PPP測位を実現。

① 受信する衛星システムは，現行の当社製主力機種GPS9ではGPSとQZSS（1機）のみである。GPS10ではGLONASSとBDSは排他でGPSとの併用だが，JG11はさらに欧州のGalileoも受信して併用可能にする。

② QZSSについて，GPS10以前は開発段階で運用されていた衛星が1機のみだったために，対応も1機のみとなっていたが，2018年に4機体制で運用される予定となっているため，JG11では4機体制に対応する。

③ 従来機はL1C/A信号のみの受信だが，L2C信号やQZSSのL6信号も受信可能にする。

④ 測位方式として搬送波測位を採用する。従来のコード測位は変調周波数が1.023MHzで波長は293mだが，搬送波測位ではL1C/A信号は1575.42MHzで波長が19cmとなるため，細かい分解能で高精度の測位計算が可能となる（図2）。しかし受信信号からは1波長未満（小数部分）の位相しか観測できないため，測位に先立ち搬送波位相の整数部分を推定する必要がある。この時，L1C/A信号とL2C信号（1227.6MHz）の差を取ると，仮想的な波長が長くなり整数解候補が1周波の場合より少なくなるため，整数部分の推定の時間が短縮出来る（図3）。

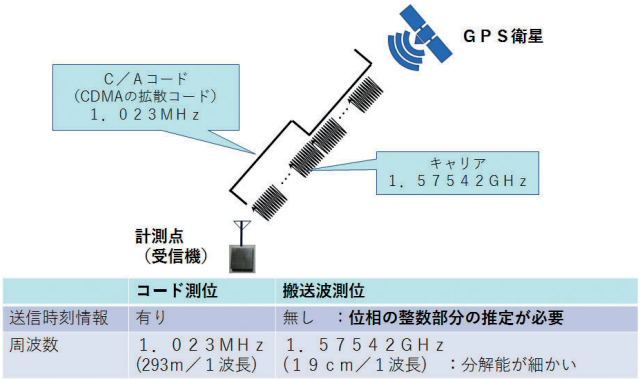

図2　搬送波測位イメージ図

Fig.2　Carrier Positioning Image Figure

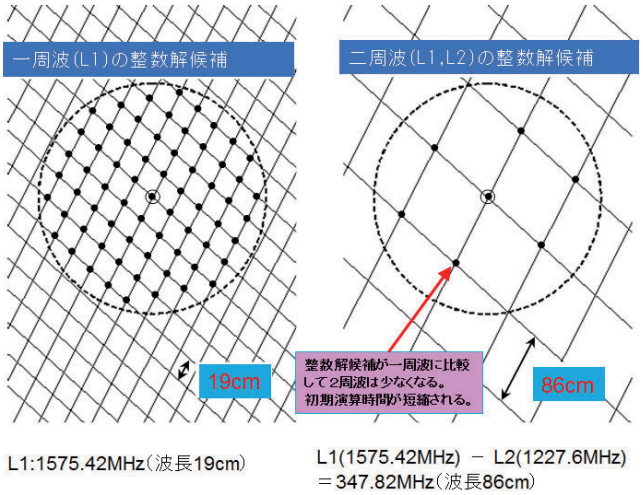

図3　２周波使用のメリット

Fig.3　Merit of Using Two Frequencies

⑤　QZSSのL6信号を受信し高精度なRTK-PPP測位を実現する。測位する間隔は従来1秒（1Hz）であったが，位置精度の向上及び市場の用途対応に伴い，0.1秒（10Hz）に高速化する。

センチメートルレベルの測位方式には，2種類ある。一つは，RTK-PPP測位であり，もう一つは，RTK測位である。この方式の違いを，図4に示す。

・RTK-PPP測位

QZSSは通常測位計算に使用するL1C/A信号の他，RTK測位に必要な補正データをL6信号で送信している。GPSのL1C/AとL2Cの2周波とQZSSのL1C/A，L2Cと，L6信号の補正データを使用することで，GNSS信号のみで高精度の測位が可能であり，これをRTK-PPPと呼ぶ。このRTK-PPP測位を実施することによりセンチメートルレベルの高精度測位を実現する。RTK-PPP測位が可能なのは当面QZSSを受信出来る日本国内に限られる。

・RTK測位

インターネットや携帯電話回線経由で基準局から補正データを受信して基準局との相対位置を推定する。補正データが受信出来れば，日本でも海外でもセンチメートルレベルの精度を実現することが出来る。

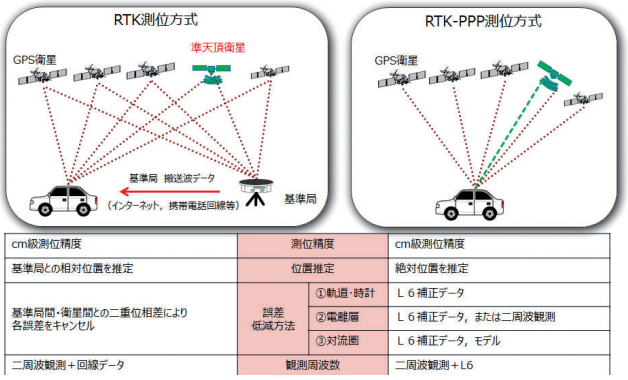

図4　RTK測位とRTK-PPP測位の比較

Fig.4　Comparison of RTK Method and RTK-PPP Method

なお，上述した方式以外として精度が１メートルレベルのPPP-SBAS測位がある。これは，通常の測位方式に加えて，SBAS衛星の補正データと搬送波位相データを利用することにより，測位精度を向上させている方式である。図5にこの3方式の実現できる地域を表す。

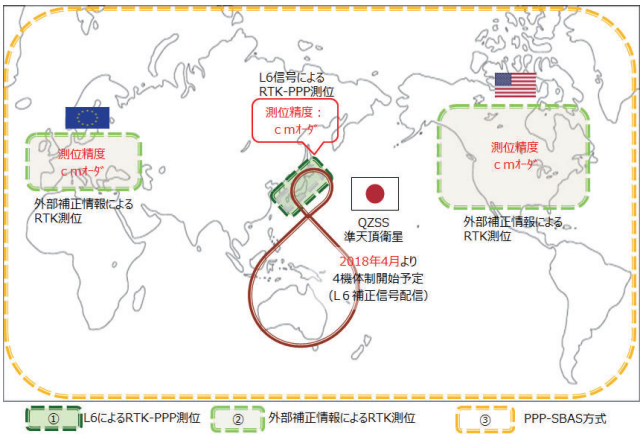

図5　JG11の地域と精度の関係

Fig.5　Relationship between Region and Accuracy of JG11

一般論文

3.2 JG11の仕様

JG11の主な仕様は表2のとおりである。

表2　JG11の仕様
Table 2　Specifications of JG11

項目	仕様
受信衛星システム	GPS/QZSS/GLONASS/BDS/Galileo/SBAS（QZSS4機体制対応）
チャネル数	42ch
受信感度	トラッキング　−163dBm アクイジション　−145dBm
測位精度	センチメートル級（RTK測位時）
測位間隔	10Hz
RTK測位	対応
信頼性試験規格	AEC-Q100準拠
チップ寸法	9.0×9.0mm
動作温度	−40 ～ +105 ℃（チップ単体）

JG11はマルチ衛星システムとマルチ周波数(L1C/A, L2C, L5)対応を1チップで実現した。

機能拡大に伴いASICのI/Oピン数を従来の86pinから167pinに拡大した。回路規模が大きくなるためASICサイズの大型化は避けられなかったがプロセスを微細化し集積度を高めることで従来寸法の7.0×7.0mmと比較して約1.7倍の面積である。多機能のソフトウェア実装にあたり，将来の機能拡張にも対応可能にするため，ROMは従来のマスクROMからフラッシュROMの採用に変更した。図6はJG11のイメージである。

図6　GNSSチップJG11
Fig.6　GNSS Chip JG11

3.3 評価結果

以下に現在の評価状況を述べる。現在は主に衛星からの信号が遮られないオープンスカイの環境での評価が多いが，RTKとPPP-SBASについては既に一定の成果を得られている。

コード擬似距離測位の現行モデルGPS10とRTK測位可能な高精度モデルJG11を同時に24時間連続で測位試験した結果，図7に示すとおり高い測位精度を確認出来た。図の1マスは1mで，センチメートルレベルの精度を実現出来ている。

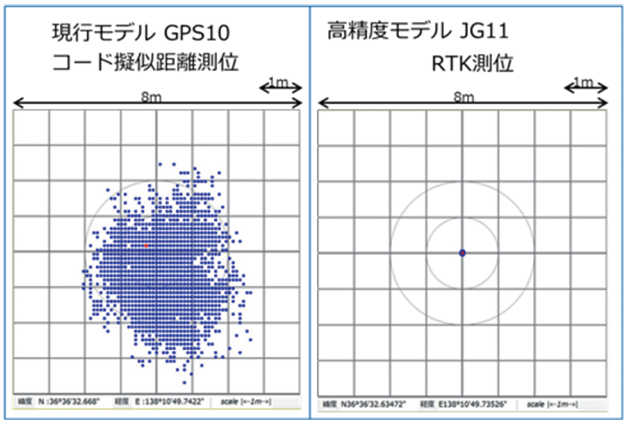

図7　GPS10とJG11の測位精度比較例
Fig.7　Comparison Example of GPS10 and JG11 Positioning Accuracy

フィールド試験では，長野市の市街地と，東京の首都高速道路でPPP-SBAS測位試験を実施した。長野市篠ノ井での試験結果では，車線の判別まで可能な結果を得られた。

首都高速道路では都心環状線を周回するコースで試験を実施した。全体を示すと車線が見えないため3箇所をピックアップして紹介する。図8は一ノ橋ジャンクション東付近の内回り走行結果で，左側車線を走行している。地図上にプロットした点でも左側車線を走行している様子がはっきり確認出来る。

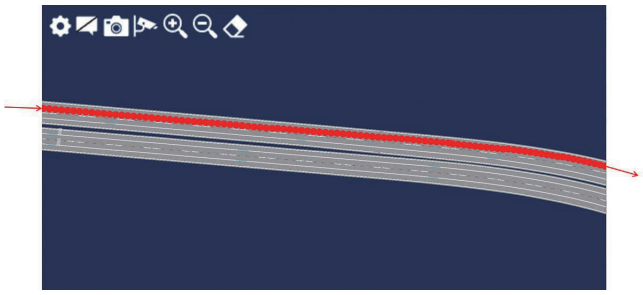

図8　首都高一ノ橋JCT東付近走行試験
Fig.8　Driving Test Near Ichinohashi Junction East of Metropolitan Expressway

その他，図9は江戸橋入口付近の内回りで，右側車線を走行。図10は千鳥ヶ淵水上公園付近の内回りで，左側車線を走行している。いずれも車線に明確にプロットされている。特に図9では，画像中央付近から道路が1車線増えており，3車線となってから中央の車線を走行していることが判る。

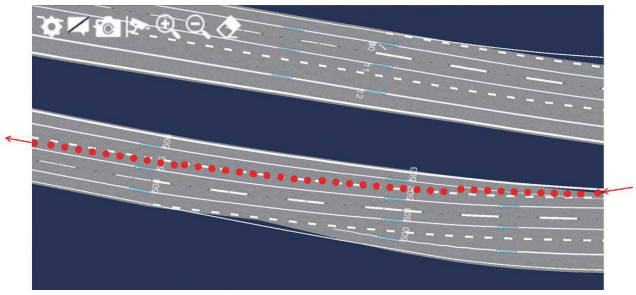

図9　首都高江戸橋入口付近走行試験
Fig.9　Driving Test Near Edobashi Entrance of Metropolitan Expressway

周囲に遮蔽物の無い市街地コースではほぼ継続的に安定してPPP-SBAS測位が可能である。

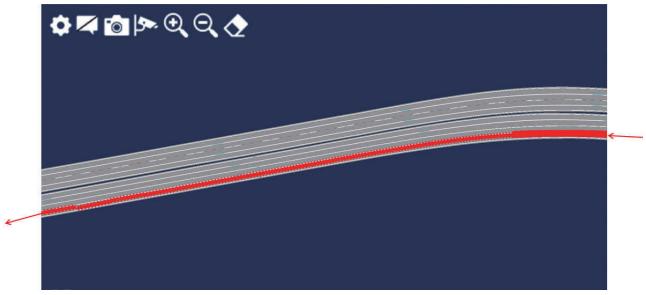

図10　首都高千鳥ヶ淵水上公園付近走行試験
Fig.10　Driving Test Near Chidori-ga-fuchi Water Park of Metropolitan Expressway

4. あとがき

GNSS受信機が世の中に出現してから四十数年が過ぎようとしてきているが，開発競争は，ますます激しくなるばかりである。その一方で，2018年度QZSS 4機体制が整うことにより，日本国内では常時L6信号が受信可能となる。さらに，RTK測位に必要な補正データを利用することにより世界中でセンチメートルレベルの高精度測位が可能となり，高精度GNSS受信機を使用したアプリケーションの飛躍的な普及が見込まれる。このような将来性の中で，当社はGNSS受信機単体による高精度測位の実現を目指していく。

用　語　一　覧

BDS: BeiDou Navigation Satellite System
DGPS: Differential GPS
DORIS: Doppler Orbitography and Radiopositioning Integrated by Satellite
DR: Dead Reckoning
FOC: Full Operational Capability
GPS: Global Positioning System
GNSS: Global Navigation Satellite System
GLONASS: Global Navigation Satellite System
IRNSS: Indian Regional Navigational Satellite System
ITS: Intelligent Transportation Systems
IOC: Initial Operational Capability
PPP: Precise Point Positioning
QZSS: Quasi-Zenith Satellite System
RNSS: Regional Navigational Satellite System
RTCM: Radio Technical Commission for Maritime Service
RTK: Real Time Kinematics
SA: Selective Availability
SBAS: Satellite-Based Augmentation System