

GPS受信機の技術の変遷

Evolution of JRC's GPS Receiver Technology

小笠 義 治 鈴木 弘 也 川 添 利 洋
Yoshiharu Ogasa Hiroya Suzuki Toshihiro Kawazoe

要 旨

GPS受信機は、今ではカーナビや携帯電話に組み込まれ、一般に知られるようになって来ている。GPSは、全世界、全天候下、24時間連続的に測位可能と言う特長があり、当社はこの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。また、船舶用GPS受信機、GPSコンパスも船舶市場で高い評価を得ている。GPSシステムの開発開始から35年以上経過し、衛星航法システムは、各国で近代化と開発を進めてきており、益々重要になって来ている。本稿では、当社の車載用GPS受信機、船舶用GPS受信機、GPSコンパスの変遷を述べ、衛星航法システムの将来動向も紹介する。

Abstract

A GPS receiver is well known as a positioning sensor of a car navigation system and a mobile phone. GPS enables accurate positioning continuously 24 hours under any weather conditions all over the world. Japan Radio Co., Ltd. (JRC) has taken interest in the prospect of GPS since the emergence of GPS. As the result, JRC has been able to develop the world's first GPS receivers for navigation systems installed into the automobile, and has built the top market share of the automotive usage's GPS receivers. In addition, GPS receiver and GPS compass for the maritime usage have also received high recognitions. Since over thirty five years have passed after the beginning of GPS development, Global Navigation Satellite System (GNSS) becomes more important than before; U.S. is modernizing the GPS, Russia is modernizing the GLONASS, EU is proceeding development of the Galileo, and Japan is proceeding development of the Quasi-Zenith Satellite System (QZSS). On this paper, we introduce evolution of JRC's GPS receivers for automotive usage, GPS receivers for maritime usage, and GPS compass, and introduce to the future trends of GNSS.

1. まえがき

現在では、GPSと言えば、カーナビや携帯電話に搭載されている測位センサとして一般にも知名度が上がってきている製品である。当社が、GPS受信機を開発を始めた頃は、衛星航法システムとしてNNSS (Navy Navigation Satellite System) が運用されており、全世界での測位が可能であるシステムとして船舶用航法装置として利用されていた。

NNSSの開発から十数年経った頃、米国は新世代の衛星航法を模索し、連続的かつ3次元測位可能で、より高精度なGPSを開発した。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GPSの将来性に早くから着目、競合他社に先駆けて開発を進めた。そして、このGPS受信機が、船舶用だけでなく、車載用にも応用範囲があることを見抜き、世界初のカーナビ向け車載用GPS受信機の開発に成功した。このことが、功を奏し、多くの苦難があったが、車載用GPS受信機のトップシェアを築くことができた。

衛星を利用した全世界航法システムはGNSS (Global Navigation Satellite System) と呼ばれている。GPSに続きロシアも類似システムGLONASSを開発、1990年代後半に正式運用したが、経済危機、財政難の影響を受け、一時期8機の衛星しか運用されず、低迷期があった。しかしながら、最近では、ロシア経済も立ち直り、20機以上の衛星で運用するようになって来ている。

米国はGPSの近代化を、ロシアはGLONASSの近代化を、欧州は独自のGPS類似システムGalileo、中国は、COMPASS、そして日本は準天頂衛星をと、これら新たなGNSSが目白押しであり、2010年代は次世代GNSSが次から次へと実現されてくる状況になって来ている。

本稿では、今後GNSSが発展し、世界中でこれらGNSS受信機が普及するであろう中、当社のGPS受信機開発の歴史を振り返り、将来動向を紹介する。第2章では開発初期のGPSを、第3章では車載用GPS受信機への挑戦を、第4章ではGPS受信機の変遷を述べ、さらに第5章では将来動向を、最後に第6章であとがきを述べる。

2. 開発初期のGPS

NNSSの衛星航法システムでは、1衛星にて測位可能なシステムであったが、ユーザの上空に衛星が飛来するのは1時間に1回程度であり連続測位はできなかった。また、2次元測位であり、3次元測位は、できないシステムであった。そこで、このNNSSの持つ問題点を解決する為、米国は新たなシステムの開発を1970年代初めに開始した。

GPSの測位原理は、24機の衛星が約12時間周期で、高度約20,000kmの上空を周回するが、4衛星以上の衛星から送信される信号をGPS受信機が受信し、衛星とユーザ間の伝搬時間を測定することによって、衛星とユーザ間の距離を求め、

ユーザの位置が決定できるという仕組みである。このGPSの航法システムは、他の航法システムと異なり単独システムとして、

- (1) 全世界、全天候下、24時間、連続的に
- (2) 水平13m以下、垂直22m以下という高精度の3次元の位置のみならず
- (3) 3次元速度、時刻が高精度で計測が可能な特長を持っている。

GPSの開発が具現化してきた1970年代後半、当社は、米国を中心に学会等から情報収集を開始した。現在、GPS信号仕様書が公開されているが、当時は仕様そのものが研究段階にあり情報収集は困難を極めた。当社が開発を始めた当時の1978年にはBLOCK Iと呼ぶ最初の試験衛星が打上げられ、その後、打ち上げられた衛星と合わせ国内においても短時間ではあるが測位可能な時間帯が得られるようになった。

当社のGPS受信機の試作機開発中には、情報が限られていたこともあり衛星軌道データの確認や設計確認の為、実際に受信する必要があった。しかしながら、測位可能な時間帯が限られていたこと、衛星配置はほぼ1日を周期とすることから、測位可能時間帯によっては深夜作業が連日続くことになり、開発担当者は当直を組んで実験する状況であった。このような努力の甲斐があり、衛星を時間的に切り換えながら受信するシーケンシャル方式のGPS受信機の試作機を完成した。当時GPSが試験段階にあり仕様の変更の恐れがあったことから、発売のタイミングをうかがいながら船舶用GPS受信機の開発を進めていた。そんな折、国内メーカーが時刻同期用GPS受信機完成の発表をしたことから、船舶用GPS受信機としてJLR-4000を1982年、国内で初めて発表した^①。GPS運用開始時までに仕様変更される可能性の警告の下での販売となったが、NNSSと異なり、その測位の連続性および測位精度から、測位可能時間が限られていたにも関わらず次第に普及していった。なお、現在、解析用途でしか用いられない測位可能時間帯予測ソフトウェアは当時、GPS受信機に必須であった。さらに測位時間帯を拡張する為、1個受信衛星が少なく済むルビジウム原子時計付きGPS受信機JLR-4000Fを完成した。

3. 車載用GPS受信機への挑戦

船舶用の航法装置メーカーとして実績を積み上げてきた当社は船舶用GPS受信機の改良を進めると共に、来るべきITS時代のキー技術であるカーナビ向け車載用GPS受信機の世界に進出することとした^②。車載用GPS受信機は船舶用に比べ、時速300km以上、加速度2G以上の信号追従性能、大幅なコストダウン、高品質保証、量産体制などの課題があり、当社も経験のない分野であったが、船舶用GPS受信機JLR-4000を発表すると、反響が大きく、車メーカー、電装メーカーから協業の申し出が相次いだ。これら車メーカー、電装メーカーは、当社の車載用製品に対する高品質、高信頼性の確保、量産体制の生産設備、市場クレームに対する迅速な対応等の仕組み作りに対して、ご指導推進して下さった。当社も車メーカー、電装メーカーの期待に応えるべく不断の努力を行って

きた。共に来るべきITSの時代に一番乗りすべく、協力し合った。

また、GPS受信機の性能面では、車載用としての信号追従性能を満たす為、当時としては、新しい方式である衛星を短時間に切り換えながら受信する高速シーケンシャル(マルチプレックス)方式のGPS受信機を開発した。そして、コストダウン及び小型化の為、当時としては、1.5GHz帯のアナログ部、デジタル部を一枚基板にするには難度が高かったが、アナログ部、デジタル部の配置、グラウンドの配置、シールドの構造などの改良の試行錯誤を行い、一枚基板とした。

また、ソフトウェアに関しても、それぞれの車メーカーのモデルに対応させる為、コア部とインタフェース部に分け、さらにモジュール構造化を強力に進めた。さらに、試験自動化の為、自己診断機能を搭載した。

電子部品に関しては部品大量購入、車載用途としての部品指定、部品のセカンドソースの確保などを行い、コスト、品質、生産体制を保証した。量産に関しては、自動化工場(FA: Factory Automation)に専用生産ライン、専用検査ラインを設けると共にトレーサビリティを確立した。

カーナビはコンシューマ用途の為、搭載するGPS受信機には高い測位の信頼性が要求された。船舶用GPS受信機の場合は、オープンスカイにて衛星信号を受信する場合はほとんどであるが、車載用GPS受信機は、マルチパスが多い市街地、高層ビル街、衛星信号が減衰する樹木に覆われた車道、片側しか衛星の見えない山道でなおかつ高度が急速に変化する坂道、トンネルを抜けてすぐに測位再開しなければいけない場所等で信頼性の高い位置を出力することが要求される。この確認の為、各種の環境下で、しかも長期間にわたり走行実験を行い、受信機の内部データを出力し、位置とびが起きた原因を究明し、対策を施し、再度、走行実験を行うということの繰り返しであった。当時の開発担当者は、いろいろな環境下で、次々と発生している現象の解明、対策に日々追われており、いつ果てる当てのない開発に神経をすり減らしていたと言える。このような努力の甲斐もあり、競合メーカーとの性能競争に打勝ち1990年世界初のカーナビ向け車載用GPS受信機JLR-963を完成した。

4. GPS受信機の変遷

4.1 車載用GPS受信機

当社では、現在、車載用、民生用に使用できる第9世代のGPS受信機(GPS9)の開発を行っている。

車載用GPS受信機として初めてカーナビに採用された後、次世代GPSとして1992年に世界最小クラスの8チャンネルGPS受信機GPS4(CCA-81)を開発した。その後、GPS4(CCA-81)を更に小型化し、シールドケース一体型モジュールCCA-191を製品化し、世に送り出した。これにより、ナビポータに搭載しやすくなり、GPS受信機の認知度が上がってきた。

その後、車載用GPS受信機は、図1に示す変遷を経て現在に至る。1994年にGPS5(CCA-285)を、1996年には、GPS6(CCA-370)を完成させた。GPS6(CCA-370)では、電源ON時から測位するまでの時間であるTTFF(Time To First Fix)

を、従来17秒であった性能を10秒までに短縮する技術を開発するとともに、当時としては、住宅地が密集している高速道路直下の一般道を走行するときの走行軌跡を格段に向上させ、他社との差別化を図った。

更に、車載用GPS受信機の測位性能として他社との差別化を図る為、1999年超高速サーチ技術を開発、同技術を搭載した車載用16チャンネルGPS受信機GPS7 (CCA-450/CCA-470) を完成させた。この超高速サーチ機能を有したGPS7 (CCA-450/CCA-470) は、コールドスタートのTTFFの大幅な短縮 (75秒typ.→40秒typ.)、GPS信号中断回復時の測位再開の短縮と大きな効果をもたらし、顧客に高評価を受け、当社のGPS受信機の地位をさらに向上させる役割を果たすこととなった。そして、この時期からGPS受信機の販売台数が、急激に伸びていき、2002年度には年間100万台以上となっていった。

このGPS7 (CCA-450/CCA-470) の評価が高まり、カーナビメーカーよりナビSOCにGPS受信機のベースバンド部を内蔵する方式のGPS-IP (Intellectual Property) 開発依頼を受けたのが、2001年度のことである。

GPS-IPと組み合わせて使用するRF回路は、モジュール化し、2003年に車載用GPS RFモジュールCMA-814を完成した。以降、小型化を図り、2004年には車載用GPS RFモジュールCMA-914/CMA-915を完成、2005年には車載用GPS RFモジュールCMA-916を完成した。

最初に、このGPS-IPの話をナビメーカーより依頼された時、将来はGPS-IPが、カーナビの主流になると予想し、短納期ではあったが、ナビSOCのベンダーと精力的に開発に取り

組み、当社がGPS-IPの主流となる基礎を築くことができた。このGPS-IPの普及により当社のGPS受信機販売台数は、2009年度で300万台に迫った。

時期は遡るが、2000年5月に米国国防省は、GPSの意図的精度劣化SA (Selective Availability) を解除した。これは、欧州の開発を進めていた測位システムであるGalileoへの対抗措置として見られているが、見晴らしの良い場所におけるGPSの測位精度は、SA解除前後で、100m程度から10m程度まで向上した。

しかしながら、ビル街などの市街地においては、ビルによる信号遮断やマルチパスの影響が大きく、測位精度は依然として100m程度に留まっていた。

このような状況下、高感度化による測位率向上およびマルチパス対策による測位精度向上が車載用GPS受信機に求められる最重要課題と考え、高感度化とマルチパス対策を実現するための新規アルゴリズムを開発した。

2004年、同アルゴリズムを搭載し、高感度化、マルチパス対策による測位精度向上を実現したGPS8 (CCA-510/CCA-550) を完成した。

GPS8には、車載用GPS受信機をカーナビ等に組み込む際の製造コスト低減を目的としたSMD (面実装) タイプのCCA-510と、従来の実装方法を継承したピンヘッドタイプのCCA-550がある。2008年には、性能を維持しつつコストダウンを実現したSMDタイプのGPS8.5 (CCA-513) を完成した。

現在、開発しているGPS9は、捕捉、追尾感度ともに世界最高クラスの性能であり、新宿などの高層ビル街での走行軌跡、測位精度は、新しいアルゴリズムを採用し、さらに










西暦	車載用GPS受信機		車載用GPS RFモジュール		
2010年					
2008年	GPS8.5 (CCA-513) 24mm×22mm (SMD)				
2005年			2005年	CMA-916 18mm×18mm (SMD) 	
2004年	GPS8 (CCA-510) 24mm×22mm (SMD)		GPS8 (CCA-550) 27mm×19mm (ピンヘッド)	2004年	CMA-914/CMA-915 23mm×23mm 
2002年	GPS7.5 (CCA-480) 26mm×27.5mm			2003年	CMA-814 26mm×26mm 
2000年					
1999年	GPS7 (CCA-450/CCA-470) 36mm×24mm				
1996年	GPS6 (CCA-370) 55mm×35mm				
1995年					
1994年	GPS5 (CCA-285) 90mm×41mm				

図1 車載用GPS受信機の変遷

Fig.1 Trend of GPS Receivers for Automotive Usage

向上したものとなっている。このように、車載用GPS受信機は、進化し続けている。

4.2 船舶用GPS受信機

一方、船舶用に関しては、最初の車載用GPS受信機の完成以降、高性能、高品質、低コストの車載用GPS受信機をベースに船舶に特有用仕様、性能を実現する手法を取り、船舶用GPS受信機として最良のコストパフォーマンスを実現してきた。

道路のない海上を走る船舶にとって、自船の位置・速度・船首方位を知ることは大変重要であり、当社では、GPS受信機による位置・速度情報と、GPSコンパスによる船首方位情報を提供している。

船舶用GPS受信機では、測位精度を大幅に向上できる船舶向けディファレンシャルGPSのサービス開始に合わせてディファレンシャルデータ受信のためのビーコン受信機を開発し、1995年に漁船向けJLR-4100、1996年には高機能の商船向けJLR-6800をディファレンシャル対応型GPS受信機として完成した。また、1992年、小型漁船向けとして、国内初のアンテナと受信部を一体化したセンサタイプGPS受信機JLR-4300を完成した。このアンテナ及び受信部一体型の受信機は、利用者が自由に表示器を選択できることから市場に定着して行き、より高機能・低価格化が求められ、1997年にはGPS受信機とビーコン受信機を一体化しかつ小型化に成功したJLR-4321を完成した。

さらに、ディファレンシャルGPSサービスをインマルサット衛星で行うWAASの試験運用が1999年米国で始まりWAAS対応GPS受信機JLR-4330W及びGPS受信機ビーコン受信機一体型JLR-4331Wを完成した。

WAASのように静止衛星などを用いディファレンシャルサービスを行うシステムを衛星利用GPS補強システムと言い、WAAS以外に欧州のEGNOS、日本のMSAS、インドのGAGANがあり総称してSBASと呼ばれている。

2006年にGPS受信機JLR-4340を、2009年にGPS受信機ビーコン受信機一体型JLR-4341を完成し、豊富なインターフェースや表示画面を持つ表示器と組み合わせたJLR-7500 (図2)、JLR-7800 (図3) を完成した。



図2 GPS航法装置 JLR-7500
Fig.2 GPS Navigator JLR-7500



図3 DGPS航法装置 JLR-7800
Fig.3 DGPS Navigator JLR-7800

ジャイロコンパスと同様の方位情報を提供するGPSコンパスは、複数のGPS受信機を用いてそれらのアンテナの相対的な位置関係から方位を求める装置である。海上での厳しい使用状況に耐えて性能を維持することは難しく、様々な困難を乗り越えた結果2001年に当社初のJLR-10を完成させた。

2002年7月の新SOLAS導入に伴い、THD (Transmitting Heading Device) 規格が制定され、全ての客船と300から500GT (総トン) の国際航海船にTHDの搭載義務を有することになりGPSコンパスが普及することとなる。これを受け、方位精度と信頼性を更に進化させたJLR-20と、より高精度のJLR-30 (図4) を2007年に完成した。

GPSコンパスは船首方位のみならず、位置・速度・ロール・ピッチ・ヒープなども計測できる特徴を有しており、船舶の総合センサとしての機能も期待できる。



図4 GPSコンパス JLR-30
Fig.4 GPS Compass JLR-30

5. 将来動向

将来動向に関して、米国は民間用周波数をサービスするGPS衛星の近代化を進めており、次世代GPSシステムのGPS III衛星の打ち上げも計画されている。GPSの近代化により、耐妨害波性能向上、単独測位精度の向上、RTK (Real Time

Kinematics)の利用拡大が可能になり、その応用は益々広がる。ロシアはGLONASSの近代化を、欧州はGalileoの開発を、日本は準天頂衛星の開発を、更に中国はCOMPASSの開発を進めてきており、衛星航法システムGNSSの応用は益々広がり市場も拡大していく。

これらGNSSで多数の衛星が複数の周波数、複数の信号形式で放送し、かつ、それらが増え、変化していく、すなわち成長、進化していくことから、GNSS受信機もそれに合わせ成長、進化して行く必要がある。

一方、GNSSの応用は、従来の船舶用やカーナビ用に加えて、モバイルPC、PND (Personal Navigation Device)、携帯電話、スマートフォン、タブレット端末、デジタルカメラ、携帯ゲーム機等の民生分野に拡大してきた。この為、GNSS受信機には更なる高感度化、屋内での測位、コスト、大きさ、消費電力での技術開発が求められている。

これらの技術開発は、GNSSでの測位を中心に、各種センサ技術との融合や、無線LAN測位との融合などが行われている。これにより屋外、屋内でのシームレス測位への進化が期待される。また、基盤技術としては、リコンフィギュラブル、ソフトウェア受信、インテリジェント無線などが重要な役割を果たすと考えられている。

6. あとがき

GPS受信機が、世の中に出現してから二十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。この二十数年の間にGPS受信機の性能・機能は大きく進歩しており、世の中にGPS受信機が普及してきている様子は、目を見張るものがある。これからもGPS/GNSS受信機は、世の中に普及していくことは間違いのないと思われるが、当社がこの業界のリーダーとしての役割を果たしていくことは容易ではない。当社は将来動向を見据え、技術、生産、品質において、顧客重視の下、市場競争に打ち勝つべく邁進していく所存である。

7. 参考文献

- (1) 山田他：“GPS航法装置”，日本無線技報，No.24，1986年p.16～21
- (2) 科学：“あなたの現在地はここです”，週刊新潮，1986年9月25日号，p.25
- (3) 河島他：“当社GPS受信機開発の歴史と動向”，日本無線技報，No.47，2005年p.2～8

用語一覧

EGNOS	: European Geostationary Navigation Overlay Service
GAGAN	: GPS And GEO Augmented Navigation system
GLONASS	: Global Navigation Satellite System
GNSS	: Global Navigation Satellite System
GPS	: Global Positioning System
IP	: Intellectual Property
ITS	: Intelligent Transportation Systems
MSAS	: MTSAT Satellite-based Augmentation System
NNSS	: Navy Navigation Satellite System
PND	: Personal Navigation Device
QZSS	: Quasi-Zenith Satellite System
RTK	: Real Time Kinematics
SA	: Selective Availability
SBAS	: Satellite-Based Augmentation System
SMD	: Surface Mount Device
SOC	: System on a chip
SOLAS	: International Convention for the Safety of Life at Sea
THD	: Transmitting Heading Device
WAAS	: Wide Area Augmentation System