

# 衛星測位システムの現状

キーワード：GPS、GLONASS、Galileo

DXアンテナ(株) GPS事業部 河口 星也

## はじめに

ここ数年、「GPS (Global Positioning System : 汎地球測位システム)」という言葉が一般にも浸透してきた感があるが、実際に様々な分野においてGPSの利用は拡大しつつある。1970年代に米国において主に軍事目的で開発がスタートしたこの衛星測位システムは、その本来の目的である航空機・船舶等のナビゲーションにとどまらず、現在では測量、建設、土木、農業、GISといった様々な分野において高精度の位置情報を提供する手段として、またそれ以外では携帯電話を始めとした通信ネットワークにおける時刻同期用のシステムとして日常的に利用されるようになってきている。

本稿では1993年にシステムとして正式運用が開始されたこのGPSという衛星測位システムの現状を述べるとともに、近年注目を集めつつあるロシア版GPSとも言うべき「GLONASS」、そして昨年EU (欧州連合) より正式に発表された第3の衛星測位システムである「Galileo」に関して紹介を行い、現在も進化しつつあるこれら衛星測位システムがもたらす将来を展望する。

## 1. GPSの現状

米国におけるGPSの開発は1970年代に遡る。GPSとは測位用の信号を送信するGPS衛星 (宇宙部分)、GPS衛星を地上から運用管理する管制局 (地上部

分)、および利用者側において測位用信号を受信し測位計算を行うGPS受信機 (利用者部分) から構成される衛星測位システム全体の総称である。

陸・海・空軍において別々に計画されていた衛星測位システムを統合する形で、1973年に米国国防総省により開発が開始され、1978年2月に実験機である初のBlock I衛星が打ち上げられた。その後、合計11機のBlock I衛星が打ち上げられ (うち1機は

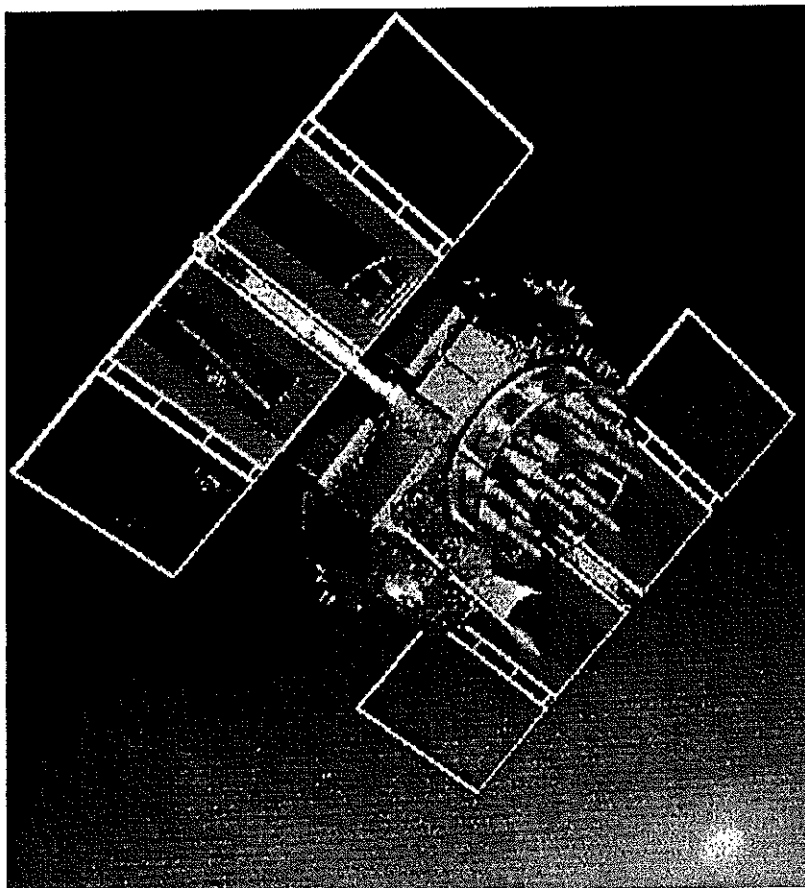


図-1 GPS衛星の外観図

打ち上げ失敗)、1989年には初の実用機である Block II 衛星の打ち上げに成功する。図-1にGPS衛星の外観図を示す。その後、1993年12月には24機の衛星軌道配置のもと、米国国防総省によるIOC(Initial Operational Capability)宣言が発表され、正式に運用が開始されることとなる。さらに1995年7月には24機のBlock II衛星の完全運用をもってFOC(Full Operational Capability)宣言が発表されている。2000年3月25日現在、実際に運用されているGPS衛星の数は28機である。現在のGPS衛星の状況に関しては、例えば米国沿岸警備隊のホームページより「ftp://ftp.navcen.uscg.mil/gps/status.txt」にて取得することが可能である。

GPSは今日、軍事および民生用という2つの枠組みに基づいてサービスを提供している。民生用として一般に利用されているのはSPS(Standard Positioning Service)と呼ばれるサービスで、GPS衛星から送信されるL1帯、L2帯と呼ばれる2種類の測位用信号のうち基本的にL1帯のみを利用可能とするものである。また、SPSはSA(Selective Availability)と呼ばれる精度劣化政策に基づいて、衛星の軌道情報およびL1帯C/Aコードのタイミングに意図的に誤差が与えられているため、GPS受信機1台のみで測

位を行ういわゆる単独測位方式での精度は水平成分で100m(95%)に抑えられている。一方、軍事用のPPS(Precise Positioning Service)と呼ばれるサービスは米国当局にオーソライズされた軍関係機関に対してのみ利用許可が与えられており、L1帯、L2帯両方を利用することが可能で、かつP(Y)コードを利用することで単独測位でも数10m精度の測位が可能である。

実際にはSAの影響は複数のGPS受信機を同時利用する相対測位と呼ばれる手法により相殺することが可能であり、いわゆるD(Differential)GPS、RTK(Real Time Kinematic)と呼ばれる相対測位方式を利用することで1m~1cm精度の測位が実現可能である。また、各受信機メーカーにより開発されたL2帯搬送波再生技術によりL2帯も受信可能なGPS受信機が市販されており、特に長基線を対象とした精密測量の分野においてはcm精度を達成するために不可欠な技術となっている。これらの測位技術に関しては次号以降で説明していく予定である。

## 2. GLONASS

GPSの利用が拡大する一方で、ロシアのGLONASSの利用も着実に普及してきている。

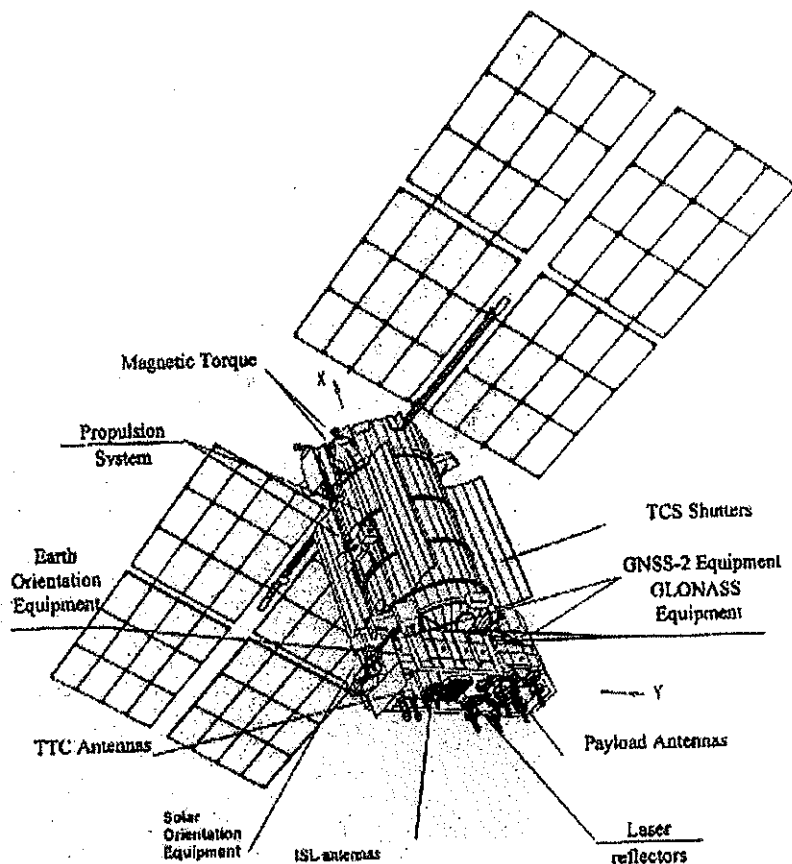


図-2 GLONASS衛星の外観図

GLONASS (GLObal NAVigation Satellite System) は旧ソ連が開発し、現在ロシアにより管理・運用されているGPSと同様の衛星測位システムである。衛星軌道、使用周波数(衛星毎に異なる)、信号形式等に違いはあるものの、測位原理等の本質的な部分ではGPSと共通項が多く、また同等の精度をユーザーに対して提供する衛星測位システムとして設計されている。前項で述べたSAに相当する意図的な信号精度劣化は適用されていないため、単独測位による精度はGPSと比較して優れており、水平成分で60m(99.7%)とされている。

最初の試験衛星が打ち上げられたのは1982年10月で、以後GPSと競争する形で打ち上げ実験と衛星の改良等が繰り返され、旧ソ連の崩壊後はロシアが計画を引き継ぎ研究開発を行ってきた。1996年1月に合計24機の衛星から構成されるシステムが完成し、実用段階へ入ったが、衛星の設計寿命がGPS Block II衛星の7.5年と比較して3~5年程度と短く、また1996年以降、1998年12月まで新規衛星が全く打ち上げられなかったため衛星数は徐々に減少し、2000年3月25日現在で8機が稼動しているに過ぎない。図-2にGLONASS衛星の外観図を示す。この衛星数の減少は主にロシアの国内経済事情悪化に起因するものであるが、ロシアは既得権であるGLONASSの維持を正式に宣言しており、今後一時的に落ち込むにしても、いずれは衛星数も増加し、現在のGPSと同程度のシステムとして提供されることが期待されている。

なお、最新のGLONASS稼動情報はロシア政府によるGLONASS公式ホームページ「<http://mx.iki.rssi.ru/SFCSIC/english.html>」より入手可能である。

一方、衛星数の減少にもかかわらず、市場におけるGLONASSの利用は着実に普及してきている。その最大の理由は数年前より市場に登場してきたGLONASS対応受信機、正確に言えば、GPS+GLONASSのハイブリッド受信機の存在である(図-3)。この受信機に関する説明は他のページに譲るが、GPS受信機と比較した場合に衛星数の増加、およびそ

れに伴う測位機会の向上とDOP(測位精度に対応する衛星の幾何学的配置)の向上が見込まれ、またSAによる精度劣化を受けないことから特に相対測位での利用が世界的に普及しつつある。これら市場の流れに刺激を受けたのか、本家ロシアでは、1998年8月に「ロシア国内で使用される全ての船舶、航空機、自動車、危険物輸送などの陸海空における航法機器はGPS+GLONASSのハイブリッド受信機を利用しなければならない」という規則が政府により正式に決定されており、今後ロシア国内で生産される受信機は全てハイブリッド型になる予定である。

### 3. 第3の衛星測位システム Galileo

1999年3月、EUは、欧州主導による独自の次世代衛星測位システムの構築を目的とした「Galileo」計画を発表した。このGPS、GLONASSに続く第3の衛星測位システムともいべきGalileoはGPSおよびGLONASSとの協調性を視野に入れながら、かつGPS、GLONASSとは独立して運用される独自の衛星測位システムとなる予定である。

現在、欧州では民生用の衛星航法システムを実現するためのGNSS-1という構想に基づいて、静止衛星を利用して衛星測位システムを補強するEGNOS(European Geostationary Navigation Overlay Service)の構築が進められているが、GalileoはこのGNSS-1を

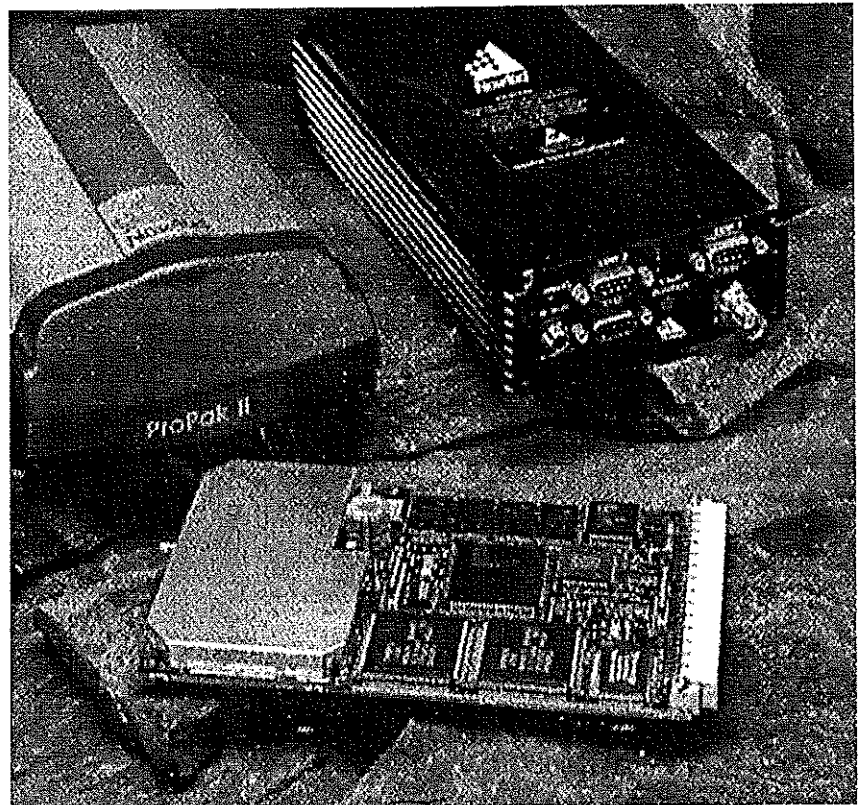


図-3 ノバテル社 GPS+GLONASS ハイブリッド受信機 RT-10

統合する次世代衛星航法システム GNSS-2として位置付けされている。Galileo計画全体はEUおよびESA（欧州宇宙機関）が主導となり推進しているが、既にシステム全体に関する研究開発がGalileoSatという名称で開始されており、一方でGalileo開発資金確保を目的とした官民パートナーシップに参画する民間企業の公募も始まっている。

Galileoの基本的な構想はGPSやGLONASSと同様に全世界を対象とした測位サービスの提供にあるが、大別すると一般ユーザー向けに提供されるOAS（Open Access Service）と政府機関等の限定されたユーザーを対象としたCAS（Controlled Access Service）という2種類のサービス体系が予定されている。また、測位精度としては95%の確率で10m程度を実現するべく要求されている。表-1に現在提案されているGalileoの緒言を示す。いずれにしても現段階はまだいわゆる「定義期間」にあたり、それらの仕様は今後明らかになっていくものと思われる。なお今後の予定として、2000年末までにシステムの概念設計を終了させ、2003年前後から試験衛星の打ち上げを開始し、2005年前後の信号送信開始を経て、2008年には運用開始が計画されている。

#### 4. 衛星測位システムの今後

今後GPS、GLONASS、Galileoがどのように発展していくかを現時点で判断するのは非常に難しいが、いくつかの計画を以下に簡単に述べる。まずGPSに関して言えば、GPSの近代化計画として2006年までにSA廃止が予定されており、また2005年以降打ち上げが予定されているBlock II F衛星からL2帯に民間用のC/Aコードを追加し、さらに2007年以降打ち上げられる衛星からはL5と呼ばれる第3の周波数の導入が計画されている。一方、GLONASSに関しては、2001年から次世代衛星であるGLONASS-M衛星の打ち上げが予定されており、これに伴い民間用の第2の信号を送信する計画がある。また、2005年以降に周波数の移行が予定されている。さらにこれらGPSおよびGLONASSの進化を促す要因の一つであるGalileoに関しては、競合する次世代GPS、次

表-1 Galileoに関する緒言（案）

衛星数	21MEO衛星+3GEO衛星 または36MEO衛星+9GEO衛星
軌道高度	MEO衛星：24,000km GEO衛星：36,000km
周波数	E2(1561.052MHz)またはL1(1575.420MHz) E5(1202.025MHz)またはL5(1176.450MHz) E1(1589.742MHz)またはG1(1595.880MHz) E6(1278.750MHz)またはG2(1248.060MHz)
多重方式	CDMA
時刻基準	UTC
測地系	ITRF
測位精度	10m (95%)
時刻精度	33ns

世代GLONASS以上のパフォーマンスをより早い時期で実現することが求められることになるであろう。これら次世代の技術の導入に伴い、それぞれの受信機メーカーもまた現在の技術にとどまることなく、新たな技術を開発していく必要性に迫られるであろう。

最後に蛇足ながら、ユーザー側の視点に基づいてこれら衛星測位システムの発展がもたらす将来を簡単に予測してみる。上記システムが実現すれば、現在のGPS+GLONASSハイブリッド型受信機の流れを汲んだGPS+GLONASS+Galileoハイブリッド型受信機の登場が期待される。前項で触れた欧州のEGNOSをはじめとする米国のWAAS、日本のMSASといった衛星補強システムが提供する静止衛星を含めると、将来的には全世界合計で100機程度の測位衛星を利用できることとなり、それに対応した100チャンネル以上の受信機も登場するであろう。結果として、例えば現状GPSで問題となっている都市部における衛星数の不足といった現象がほぼ解消されることになり、またそれに付随する結果としてRTKにおける初期化時間がほぼ瞬間化され、あらゆるアプリケーションにおいてRTK方式=cm精度がスタンダードになっていくとも考えられる。1cm精度のカーナビゲーションも実用化されるかも知れない。