



RTK-GPS

柳原 徳久 ((株)日立製作所)

n-yanagi@gm.merl.hitachi.co.jp

初本慎太郎 ((株)日立産機システム)

hatsumoto-shintarou@ice.hitachi.co.jp

日本ではカーナビゲーションが広く普及しており、新車への装着率は約 30%に達している。カーナビの位置検出にはGPS (Global Positioning System) が用いられていることはよく知られている。最近では携帯電話の中にGPS による測位機能が搭載されたものも発売され、さらに身近になってきている。これらの位置検出精度はSA^{☆1} (Selective Availability) が解除されて大幅に精度が向上したとはいえ約 10m程度である。最近、地震の発生、火山の噴火などのニュースで地盤が数cm隆起したとか、西方向に何cm移動したとかの情報が報道されているが、この測定も実は高精度なGPSによるものである。

衛星測位システムの動向

GPSとは、地球の上空(高度約 20,000km)を周回する 24 個の衛星の位置を基準として、地球上での 3 次元位置を検出する衛星測位システムである。図-1 に簡単な歴史を示す。

現在利用できる衛星測位システムとしては米国が運用しているGPSのほか、図-1 に示すようにロシアが運用しているGLONASSがある。また、日本では 2004 年に

☆1 SA (Selective Availability): GPSの時刻情報に揺らぎを与え、意図的に精度を劣化させている。

MSASの運用を目指しており、ECでは 2008 年運用を目指している GALILEO 計画がある。GALILEO は 2005 年以降打ち上げが始まる予定であり、GLONASS も衛星が予定通り打ち上げられ 24 個の体制になったとすると最終的に 80 個以上の衛星が地球を周回し、上空には常に 40 個以上の衛星が存在する状況となることが予想される。

GPSの測位方式¹⁾

衛星測位方式には、大きく分けて単独測位方式と、相対測位方式に分けられる。相対測位方式は、基準点との相対測位により誤差を補正し精度を向上させるもので、コード情報によって測位を行うD-GPS方式(D-GPS: Differential GPS)と、電波の位相情報まで利用する干渉測

1973年	GPS開発に着手
1970年後半	GLONASS開発に着手
1978年	GPS衛星打ち上げ開始
1982年	GLONASS衛星打ち上げ
1993年	正式にGPS運用を開始
1999年	MTSAT打ち上げ失敗 (MSAS)
2000年	WAAS運用開始
2005年	新世代GPSの打ち上げ (信号精度アップ)
2008年	GALILEO運用開始

- GPS(Global Positioning System):
米国測位システム
- GLONASS(Global Navigation Satellite System):
ロシア航法システム
- MTSAT(Multi-functional Transport Satellite):
運輸多目的衛星
- MSAS(MTSAT Satellite-based Augmentation System):
MTSAT用衛星航法補強システム
- WAAS(Wide Area Augmentation System):
米国衛星補強システム
- GALILEO:
EU航法システム

図-1 衛星測位システムの歴史

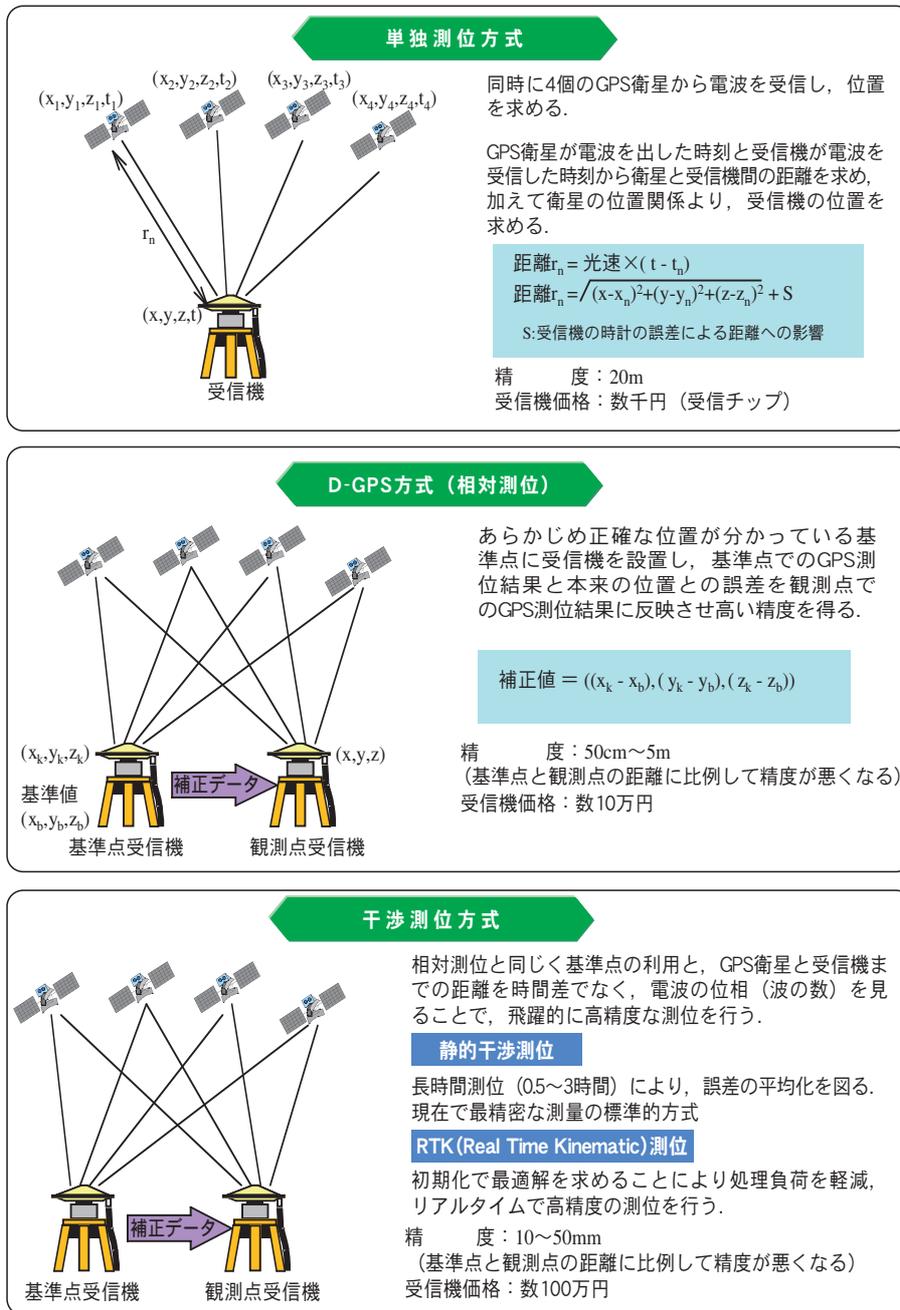


図-2 測位方式の概念図

位方式 (RTK-GPS: Real Time Kinematic GPS) の2つの方式がある。

図-2に各測位方式の概念図を示す。単独測位方式は、4つの衛星から送られてくるコードを解析し、時間差からその距離を求め、3次元の位置を特定する方式である。このとき、時間(受信機の時計の誤差)を1つの変数と考えるために4つの衛星が必要となる。単独測位方式では、電波の遅延がそのまま測位誤差となる。

相対測位(D-GPS)および干渉測位(RTK-GPS)は、地上のあらかじめ分かっている既知点(基準局)での誤差を求め、未知点での誤差を補正して精度を改善する方式である。単独測位で生ずる電波の遅延による誤差を補正す

ることができる。このとき、干渉測位方式では、衛星のコード情報ではなく、搬送波の数および位相を用いて衛星までの距離を測る。このため、cmオーダーの精度を実現することができる。

衛星は1msごとに、①日付(週の数)、②衛星の精度、③衛星時計の補正パラメータ、④衛星軌道パラメータ、⑤電離層補正パラメータ、⑥時刻パラメータのメッセージ(GPS航法メッセージ)を送信する。周波数は各衛星ともに同じであるが、CDMA方式により受信機は任意の衛星の信号を受信できる。これらの情報をもとに測位計算に用いる衛星を選択し、計算の誤差を小さくするように測位計算を行う。

誤差要素	測位誤差の標準偏差 (m)	
	単独測位	D-GPS
軌道情報	2.1	0
衛星時計	2.1	} (2ppm × 局間距離)
電離層伝搬誤差	4.0	
対流圏伝搬誤差	0.7	
マルチパス	1.4	
受信機ノイズ	0.5	1.4
利用者等価測距誤差	5.3	1.5 ~ 2

* マルチパス: 付近の構造物などによる反射波
 * 2ppm: 1km 離れるごとに 2mm の誤差

表-1 誤差要因²⁾

サービス名	FM東京	国土地理院	港湾建設工事	海上ビーコン	MSAS システム
運営の主体	(株) 衛星測位情報センター	日本測量協会	海上D-GPS利用推進協議会	国土交通省 海上保安庁	国土交通省航空局
補正情報の種類	D-GPS	D-GPS, RTK	D-GPS, RTK	D-GPS	広域D-GPS
基地局数	7局	約949局	6局	27局	8局
送信局	FM東京など41局 ネット	MCA局175局	移動無線センター(6局)	ビーコン局(27局)	MTSAT衛星×2
運用開始	1997年	1999年	1997年	1998/1999年	2002年(予定)
受信方法	FM D-GPS 受信機	MCA 無線受信機	MCA 無線受信機	ビーコン受信機	新型GPS 受信機
免許, 資格等	不要	不要	不要	不要	不要
利用料金	無料	—	年間約700万円	無料	無料
利用範囲	ほぼ日本国内	ほぼ日本国内	1部の港湾地域	日本の沿海	日本全土
精度の安定度	やや不安定	実験中	限定されたエリア内は安定	ほぼ安定	—

表-2 日本における補正情報サービス

単独測位方式および相対測位の誤差を表-1に示す。なお、干渉測位は、搬送波を利用して計算を行うため、位置検出の分可能が高くその分誤差も小さくなっていると考えればよい。

相対測位(D-GPS)および干渉測位(RTK-GPS)方式は、精度を向上するために補正情報を必要とする。このときの精度は基地局からの距離が離れば離れるほど劣化する。この劣化は、高精度を実現するRTK方式において影響が相対的に大きい。精度を確保するためには多数の基地局を配置する必要がある。現状の補正情報のサービス状況を表-2に示す。

表-2より、現時点では限定された地域向けのD-GPSサービスしかないが、広域のD-GPSを実現するサービスはMSASによって実現できると思われる。また、RTKにおける全国サービスは、国土地理院が国土監視用に持っている約1,000個の基準局を用いたサービスを展開しようとしている。当初は表-2に示すようにMCA無線を用いた方式を検討していたが、現在は基準局の情報を民間に開放し、民間が種々の通信媒体(携帯電話、TV放送など)を用いてサービスを行う方向で進められている。

VRS (仮想基準点方式)³⁾

高精度に測位を行う方式としてRTK(Real Time Kinematics)方式があるが、この方式の利用においては

くつかの制約事項がある。1つ目は、RTK基準局受信機の設置と基準局から測位をしたい位置に置く移動局受信機間のデータ伝送装置の設置が必要であること。2つ目は、RTK基準局と移動局受信機間の距離(基線長)が長い場合、いわゆる広域での利用が困難であること。基線長の目安として一般的には約10km以内であることが必要である。これまでは、これらの制約をRTK利用者側で解決する必要があり、そのために多大な設備投資や不便さを強いられてきた。

このようなRTK方式の制約を取り払う技術として注目されているのが仮想基準点方式測位である。その目的の1つ目は、現状のRTK方式の制約である基線長限界を、移動局受信機の近傍に仮想的な基準局を生成することにより解決し、シームレスな高精度測位を可能にすること。2つ目は、RTK補正情報プロバイダサービスの基本技術として取り込むことにより既設のGPS基準局設備(国土地理院の電子基準点など)の利活用が可能となり、利用者側での基準局設置負担なく高精度測位を実現することが挙げられる。

GPSの誤差要因としては、GPS衛星からの電波信号の電離層と対流圏通過時の伝播遅延が挙げられる。伝播遅延量は電離層の状態や気象条件に依存するため、基準局と移動局間距離(基線長)が短ければ両者の測位環境は同一の電離層状態と気象条件であることを前提にする

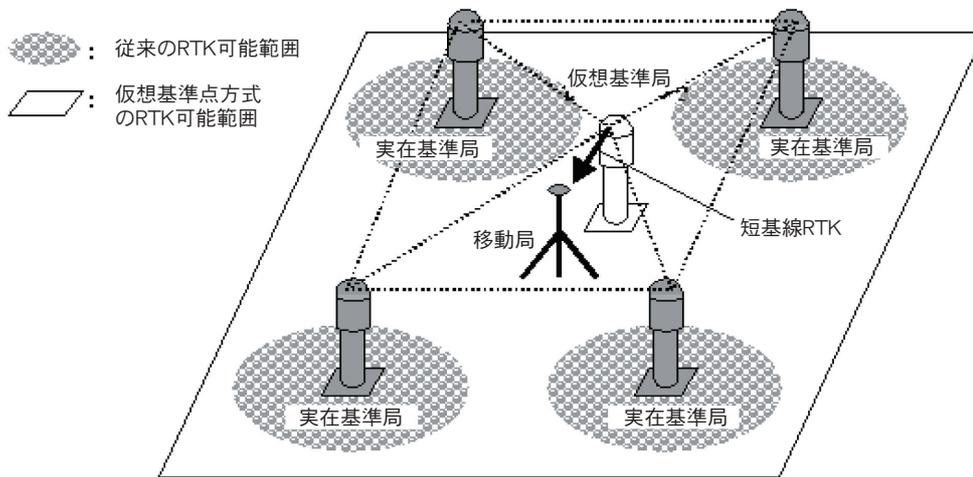


図-3 仮想基準点方式の概念図

と、L1/L2 (GPS衛星はL1, L2の2つの周波数の電波を送信している)の二重位相計算時に伝播遅延誤差は相殺される。しかし基線長が長いとその相殺効果が弱まり、測位精度の劣化やバイアス決定ミスを起こす可能性が出てくる。

このことから基線長は一般的には10kmを超えるとRTKでFIX解を得ることが困難となる。これらを考慮すると、広範囲でRTK測位を行うためには実在の基準局は20km間隔で設置する必要がある。実環境構築を想定すると多大なコストが必要となる。仮想基準局方式は図-3に示すように、基線長が長くなる測位ケースにおいても移動局の近傍に仮想基準局を生成し、事実上仮想基準局との短距離基線のRTKを実現する方式である。仮想基準点方式の原理は、複数の実在基準局において観測されたデータをもとに、基準局間における相対誤差モデルを生成する。この誤差モデルをもとに、仮想的に決めた場所で実際のRTK受信機で観測されると推定される観測量を生成する。具体的には、各実在基準局間の二重位相のバイアスを算出し、実際の搬送波位相観測量と衛星の軌道情報および基準局の座標から計算した各衛星までの距離との残差を求める。この残差をもとにエリア内における擬似距離と搬送波位相の相対誤差を推定する。さらに推定した相対誤差の影響を取り除いた仮想的な観測量(仮想基準局)を作成し、測位計算に用いる。

国土地理院では、全国に配備しているGPS基準点を仮想基準局として利用することへの可能性について検討を行っている。実際には、平成12年12月から平成13年2月の3カ月間と平成13年11月から平成14年3月までの4カ月間、電子基準点を利用したリアルタイム測位実用化実験を公開して実施した。この実験には、複数の民間企業、団体が参画し、実用化に向けた技術の向上と成果を出している。また、平成14年5月から関東・中京・

京阪神等の大都市エリアを中心として200点の国土地理院GPS電子基準点からのリアルタイムデータ提供が可能となり、これを受け仮想基準局方式での位置情報提供サービスを開始する企業も出てきており、今後の高精度測位の市場活性化に期待するところである。

これらサービスシステムの概念図を図-4に、また、主な仮想基準点方式を表-3に示す。

GPSの応用分野

GPSは本来軍事用に開発、利用されているものであるが、民間にも開放されておりさまざまな分野で利用され始めている。日本において最も広く利用されているのは、カーナビゲーションであろう。今や新車の約30%程度に装着されており、全車両に対しても10%を超えている。カーナビは目的地への案内が主たる目的であるが、業務用ではこのカーナビを車の監視に利用することが行われ始めている。

高精度な測位分野では、国土地理院が国土監視のために全国約1,000カ所に電子基準点(RTK-GPS)を設置しており、1日に1回解析を行い日本列島の移動をmm単位で把握している。また地図の作成にもGPSを利用することが考えられており、国土地理院では測地成果2000と称して、地図の基準を衛星測位系に合わせようという動きになっている。これが進めば、GPS測位データがそのまま地図に変換できることになり、従来の測量にとって代わるものと期待されている。また工事の分野では、海上の大規模施設(海上空港建設、埋め立て)、大規模構造物(橋、高層ビル)の建設などにも利用されている。

これらGPSの利用分野をまとめたものを表-4に示す。

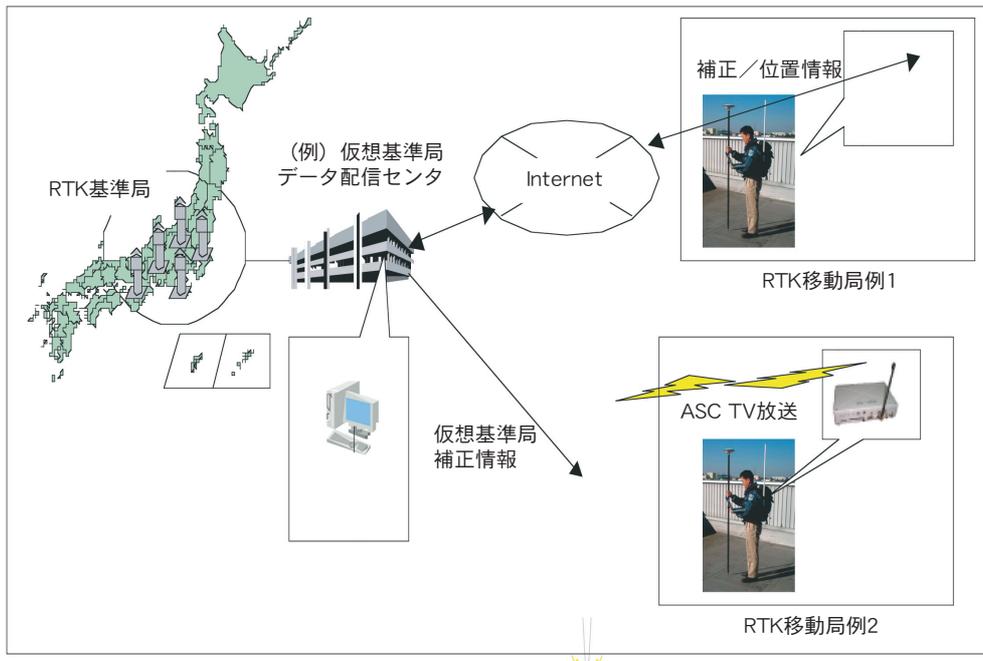


図-4 仮想基準点方式のサービスシステム概念図

方式 (種類)	Virtual Reference Station	Geo++	MultiRef
開発機関・会社	Terrasat	Referenznetz	Calgary Univ.
国内提携企業	トリンブル	三菱電機	DX アンテナ

表-3 主な仮想基準局方式の種類

名称	分類	精度	略称	用途
単独測位	静止	5m ~ 20m	GPS	航路標識監視, 流し網, 定置網, 森林調査, 地質調査, 登山などの比較的ラフな位置決め
	移動	10m ~ 30m	GPS	カーナビゲーション, 船舶, 航空機ナビゲーション, 物流システム, 徘徊検知
相対測位	静止	50cm ~ 5m	D-GPS	単独測位の静止の場合などにおいてより精度を要求されるときに適用
		2cm ± 1ppm	RTK	精密測量, 火山観測, 地震予知システム, ダム監視システム, 土木工事測量, 地殻変動監視システム, 検潮システム, 気象観測, 土砂崩れ検知など固定点にて長期に微細な変化を観測するようなシステム利用
	移動	50cm ~ 5m	D-GPS	海上建設工事, 広域精密測量, 船舶自動着岸システム, 海底探査, 海洋科学調査, 除雪車モニタ, 現金輸送車, 長距離輸送車, 営業者, タクシー, バス, 列車の制御やモニタなど高い精度を必要とするシステムのセンサとして利用
		2cm ± 1ppm	RTK	高速精密測量, 航空写真測量, 広域精密測量, 海上精密測量, 航空機離着陸システム, 移動体制御, その他, 中高速移動での精密測位, 軍事利用, 精密農業
タイミングモニタ				地震計等の伝搬時間の計測, 通信機器の同期信号, 時計の利用, 地球の自転観測などへの利用, ネットワーク機器の時刻合わせ

表-4 GPSの主な応用分野

安全な社会に向けて

全国をカバーする補正情報の提供が始まれば、高精度なGPS測位がより身近な存在となってくるだろう。民間の分野でも、詳細な地図との組合せによる種々のサービスが提供されるものと考えられる。このように高精度な位置情報のインフラは、ある意味で常に監視されているという状況を作り出すことになるかもしれないが、安

全な社会の構築にはなくてはならないものとなるであろう。昔はお天道様が見ていると言ったが、将来はGPS衛星が見ているということになるであろうか。

参考文献

- 1) 土屋 淳, 辻 宏道: 改訂版 GPS測量の基礎, pp.11-24, 日本測量協会 (1999).
- 2) 安田明生: GPSとその応用, GPSシンポジウム 2001, pp.193-216, 日本航海学会 GPS研究会 (2001).
- 3) RTK-GPS測位に関する研究発表会－仮想基準点方式等による－資料集, 日本測量協会 (June 2001).

(平成 14 年 7 月 1 日受付)

