

# 「GPS (グローバル・ポジショニング・システム) の応用例」 について

古野電気株式会社

顧問 杉山 暁

## 1. はじめに

GPS (Global Positioning system) は世界的な位置測定システムであり、カーナビゲーションシステムでお馴染みとなりました。また、地震や火山活動で「何センチメートル」の地殻変動があったとのニュースが飛び込んできますが、これもGPSで計測されるようになりました。

地球を取り囲んで予備も含めて27個のGPS衛星が高度約2万kmで飛び交っています。

原子時計を元にして非常に正確な時刻情報と衛星自身の軌道情報を放送しています。この信号を受信アンテナで受け、衛星と受信点との間を電波が伝わってくるのに要した時間を測ります。この時間に電波の速度を掛け算すれば距離がわかります。最低3個の衛星までの距離が判ると受信アンテナの位置が決定できます。

実際の受信機では、受信機の時刻を衛星の時刻に合わせるためにもう1個の衛星の電波を受信します。4個の衛星からの電波を受信できれば、受信点の位置を3次元で決定できます。もち論4個以上の衛星電波を受信できればさらに誤差を少なくできます。

米政府は民用に対しては精度を劣化させる信号 (SA : Selective Availability) を付与していましたが、2000年5月から廃止されました。現在では約10m程度の精度で位置を測ることができます。

GPSの測定には単独の受信機での測位のほかに基準になる既知の位置にも受信機を置いてその測位結果から誤差修正信号を得て被測定点に置いた受信機の測位精度を向上させるDGPS (Differential GPS) と呼ばれる測定方式があります。人工衛星から受信機にいたる電波伝播経路の擾乱誤差を軽減します。

さらに、精密な測量や計測にはGPS衛星からの電波を変調しているコード信号による時間測定のほかに、GPS電波の搬送波の位相を計測するいわゆる干渉測位によって、cmオーダーの測定を可能にしています。

IT時代を迎えGPSは正確な「位置」と「時刻」の情報をグローバルに提供するインフラとして欠かせないものとなってきました。

各方面での応用例についてご紹介します。

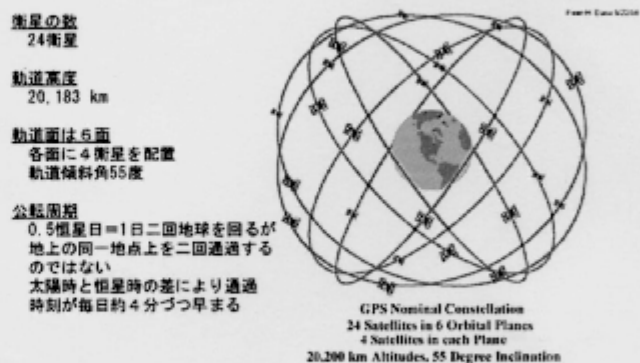


図1 GPS衛星の配置



## 2.2 干渉測位

C/Aコードを使った測位は測距の尺度目盛りが1μsecすなわち300mですが、GPS電波の搬送波の波長に注目すると、それは約19cmです。

搬送波の位相を観測して距離を測定しようとするのが干渉測位です。その概念図は図5です。

この方式も主受信機と従受信機との相対位置の測定となります。また両受信機の距離(基線長)は数kmから数10kmに限られますが、cmオーダーの距離の測定ができます。主に測量や計測に利用されます。

C/Aコード測位は精度の点では劣りますが、速い移動体でも使えます。干渉測位は精度は高いがモビリティで劣っています。精度とモビリティで相反する特徴がありますので応用に際しては、その中間の性能を持った測位方式も工夫されています。その概要を図6に示します。

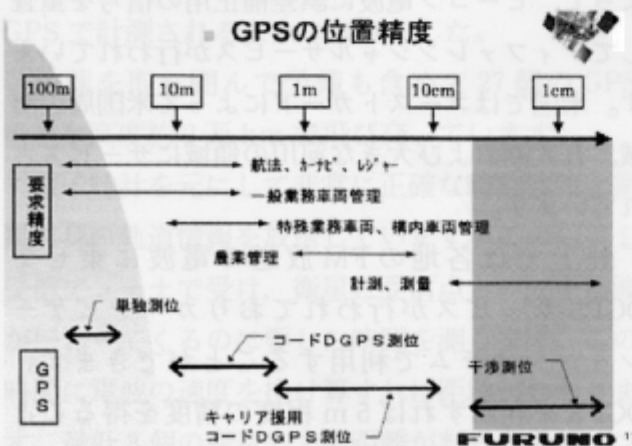


図5 GPSの精度

GPS衛星からの電波の波長(約20cm)を尺度として、基準点との相対位置を計測する。

$$\Delta \rho_{ms} = \Delta \rho_{ms}^n + N_{ms} \lambda + \Delta \phi_{ms}$$

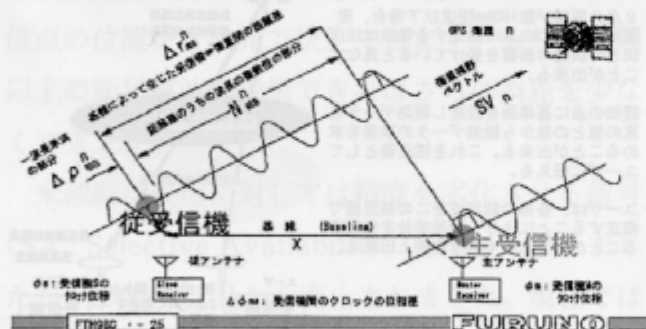


図6 干渉測位

## 3. 応用例

### 3.1 ナビゲーション

わが国では世界で最も早くカーナビゲーション装置が普及しています。最近では年間100万台を超えるカーナビ装置が出荷されています。GPSの利用ではもっとも身近なものです。個々の車のナビのみならず、タクシーや運送業などの配車管理、いわゆるフリート・マネージメントにも活用されています。

さらに、個人の自動車に対しても事故、カージャックや盗難などの非常時にエアバッグの作動や緊急ボタンで自動的にGPSで測位した情報が緊急通報センターに送られ、警察や消防に出勤依頼をするサービスが始まっています。(図7参照)

GPSの民間利用は航海用として真っ先に始ま

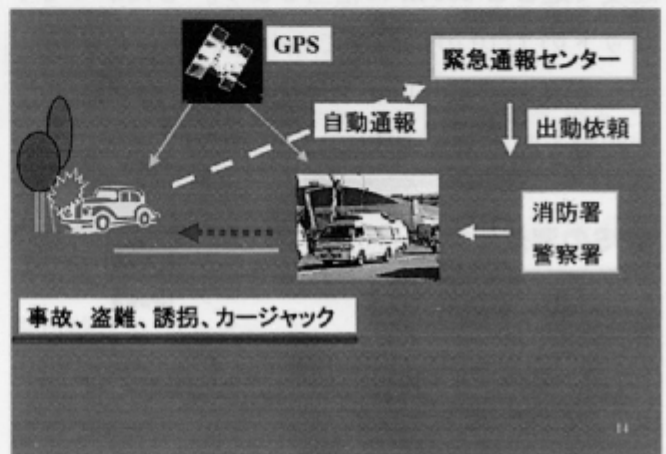


図7 緊急通報システム



図8 単独無寄港世界一周航海“KAIREN”



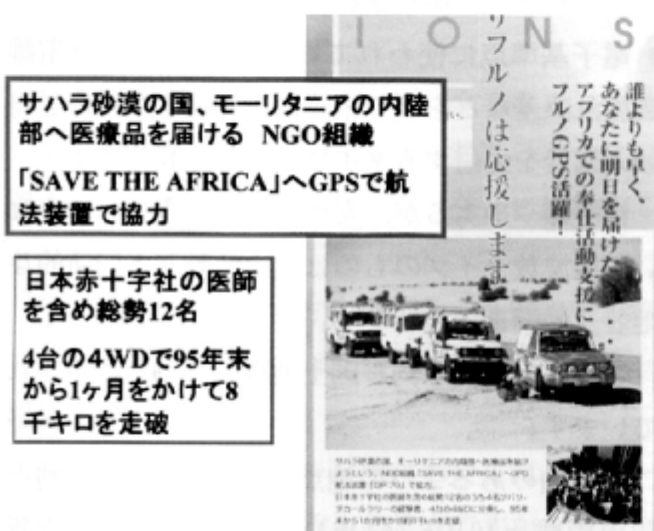


図 9 NGO

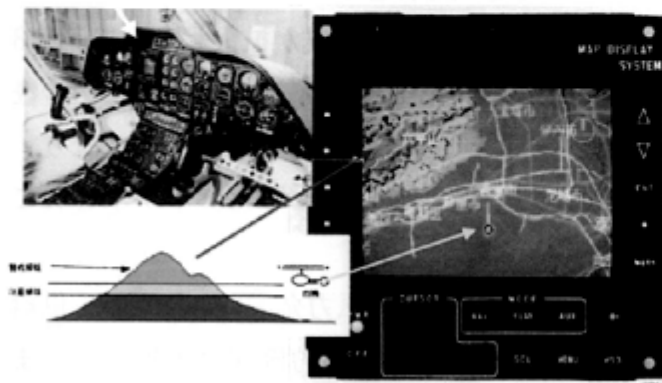


図 10 ヘリコプター用 GPS ナビゲーター

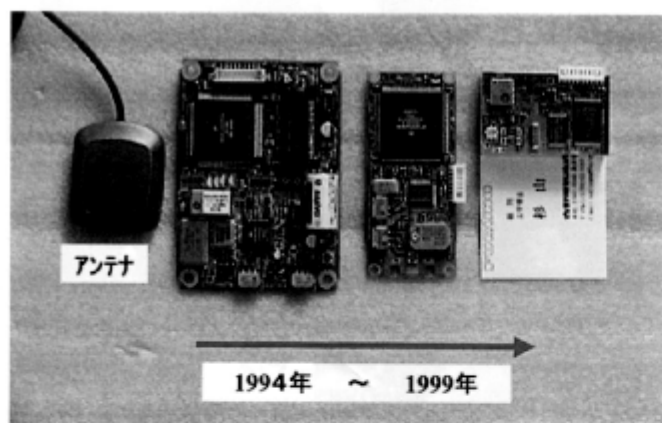


図 11 GPS 受信機の変遷 (小型化)

りました。それ以前にあった NNSS が平均 2 時間に 1 回の測定であったのに比べ、連続的にしかも高い精度で測位できること、ロランに比べ世界中のあらゆる海域でサービスを受けられること。機器の操作は何ら必要でなく手放して位置情報がリアルタイムで得られ、かつ利用料は無料である

パソコンとリンク  
高度計算  
自動時刻修正



図 12 腕時計型 GPS ナビゲーター

ことで急速に利用が普及しました。

砂漠に行く自動車にとっても心強い案内人です。有名なパリ・ダカール・ラリーなども GPS の装備が義務化されるようになりました。

まったくの有視界飛行に頼っているヘリコプターにも悪天候時や夜間の飛行に有効なヘリコプター用ナビゲーターが開発されて実用に供されています。GPS では 3 次元での測位ができる利点を活かして高度に対するアラートを自機の高度と内蔵の地形データベースとの比較で的確に出せるようになっています。

このように GPS 受信機の利用が広がるとともに、受信機の測位演算アルゴリズムやハードウェアも改良が重ねられています。

図 11 に示すように GPS 受信機は名刺の 3 分の 1 ほどの大きさになり、省電力の工夫も凝らされて腕時計型の GPS ナビゲーターも実現しました。アウトドアライフの愛好者に大変な人気です。

### 3.2 測量・計測

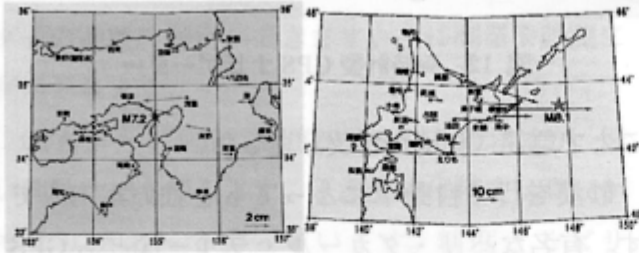
国土地理院では電子基準点を全国にくまなく配置して GPS による地点の連続観測を行っています。地殻変動の監視や各種の測定の基準点としてこの地点の精密な位置情報データベースが提供されています。国土地理院のインターネット・ホームページでは電子基準点がとらえた地殻変動の例として北海道東方沖地震や兵庫県南部地震による



GPS連続観測システム

国土地理院では、地震予知・火山噴火予知の調査研究のための広域地殻変動監視及び各種測量の基準点として利用するため、全国約25km間隔で『電子基準点』を設置しています。

図 13 電子基準点



兵庫県南部地震 (1995) 北海道東方沖地震 (1994)

図 14 電子基準点がとらえた地殻変動

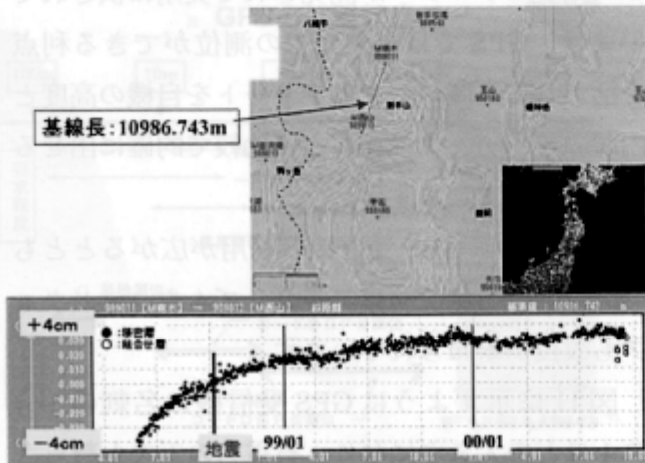


図 15 岩手山の基線の変化

国土地理院 岩手山火山活動観測設備

- 衛星電話による自動監視装置
- 太陽電池と風力発電による自立した電源

衛星携帯電話を使った国土地理院の岩手山火山活動のGPSリモート監視システム。(1995年9月運用開始)

本システムは、純倉山・八幡平・岩手高原・磐梯湖等の4つの観測点からなり、周辺の2つの電子基準点データとともに筑波の本部へ送られ、火山活動の状態を各種観測の二次元的単位で監視するようになっている。通信システムは衛星携帯電話を使って、データ回線は完全自動で行われる。監視システムも、データフォーマット変更から観測結果まで完全自動化されている。(国土地理院提供)

GPS観測システムを中心に、衛星電話システムも兼ね備えたユニット。バッテリーはソーラーで電力を供給している。(国土地理院提供)

図 16 国土地理院岩手山火山活動観測設備

地殻の動きなどが示されています。

電子基準点に使われているGPS受信機は電離層擾乱誤差などをより正確に取り除くために2周波の信号を受信するタイプのもので高価です。

精度はやや劣るが、安価であり消費電力の少ない1周波数タイプのは火山活動など局所的な地殻変動調査に便利です。

岩手山の観測事例が国土地理院のHPに示されています。

岩手山のある2つの地点(基線長:2つの地点間の距離=10,976.743 m)にGPS受信機を設置し、通信回線を通じてリモート観測を行い、そのデータは筑波の国土地理院にて解析されました。1998年はこの2点間は距離が拡大しており、1998年9月の地震の際には少し縮みましたが、引き続き伸びました。1999年は伸び方が緩やかになり、2000年は殆ど変化がなくなった様子が示されています。

装置には太陽電池や風力発電により電源を供給していますが積雪時の電力確保は困難を伴います。

GPSによる地形観測は尾根を挟んだ2点間の

観測点設置事例⑥

火山監視 基線長 5km  
基準点 1 観測点 3  
衛星電話自動回収



図 17 観測点設置事例⑥

奄美大島名瀬 防波堤観測設備

- 小電力衛星によるリモートデータ回収方式
- 太陽電池による自立した電源

高波が押し寄せる場合のケーソンの動きを毎日モニタリングしている。観測データは小電力衛星で陸上へ送られる。観測は自動で行われ、高波での水没など、烈震の際にも十分耐えて出現の脅威を覚悟している。

図 18 奄美大島名瀬港防波堤観測設備

ように見通しのない地点間でも測距できるので、測地点の設定が容易です。

有珠山の噴火の際にもこの観測システムは活躍しました。何10個もの観測点を網目のように設置することで地殻変動の様子をリアルに捉えることができます。

図18は奄美大島で防波堤の動きを監視した例で、台風の大きな波では防波堤も若干動くことが観測されました。

揺れる船からのソナー計測においては、ソナー自体の性能向上はもちろんのことですが、その土台となるプラットフォームの動きを正確に計測して測定データを補正することで、より精密な測定が可能となります。

図19は海底地形観測ソナーで見た沈船の一例です。扇形ビーム状に超音波パルスを海底に発射



図19 ソナー計測におけるプラットフォームの計測

船舶の主要航路になっており多数の船舶が行き交っている

関空周辺に於ける船舶の状況  
1995年7月の48時間観測

漁船 1,090隻(39%)  
高速船 325隻(12%)

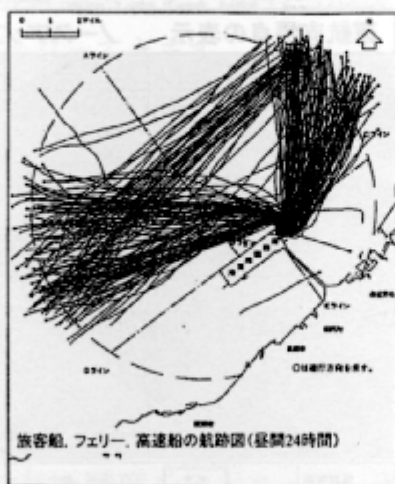


図20 大阪湾の航行1

関空周辺に於ける船舶の状況

1995年7月の48時間観測

貨物船 218隻(8%)

タンカー 181隻(7%)



図21 大阪湾の航行2

し、受信ビームを走航方向と直角な方向に高速電子走査して、海底の起伏を検知します。船を進めながら繰り返し探知をして海底の起伏の様子を面的に捉えてゆきます。

これまで見てきたようにGPSによる位置の情報は広く活用が進んでいますが、次に示すのはGPSの提供する位置と時刻の両方の情報をともに活用した例です。

関西国際空港の2期工事が開始されていますが、そこでの埋め立て作業の管理に使われている例です。

図20は関西国際空港の近辺の海域を行き交う漁船や客船の航跡です。また、図21は貨物船やタンカーの航跡です。

土運船はこれらの航跡を横切る形で土を運できます。埋め立ては予め計画された手順で土を入れていかねばなりません。これらの作業を安全にかつ効率的に遂行するための運航管理支援システムがGPSをキー技術として構成されています。システムは「管理センター」、「基地局」そして「船舶局」とGPSで構成されています。

「基地局」は大阪湾を見下ろす位置にあり、「管理センター」とデジタル専用回線で結ばれ、「船舶局」とは専用の無線回線で結ばれています。「基地局」は「船舶局」へは「管理センター」からの指示を伝え、「船舶局」からは位置情報を含む報告を中継します。精密な測位のために「基地局」は



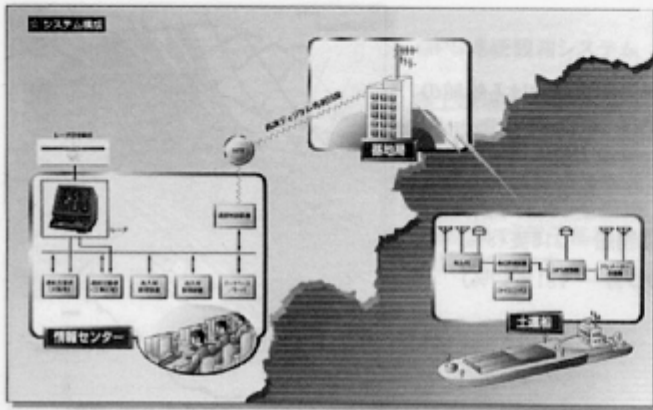


図 22 関西国際空港土運船等運航管理支援システム

ディファレンシャルデータを提供します。

「船舶局」装置は土運船のほか工事関係船、関西国際空港への定期船などに装備されています。1 m 程度の精度で各船は測位しその結果は自動的に「管理センター」に報告されます。「管理センター」のディスプレイ上には各船の動態が表示されます。

「管理センター」はレーダー装置もっており、管理されている船のレーダー映像には情報タグが添付されますが、工事水域に入ってきた不審船には情報タグが無いので直ちに判別されます。

これらの整理された情報は「船舶局」のディスプレイでも見ることができます。

「船舶局」の数は数百局におよびます。「船舶局」と「基地局」を結ぶ無線通信回線は貴重な電波資源を効率よく使わねばなりません。ひとつの周波数を多くの局で共用するには時分割で使うこととなります。一般的には局に番号を付け、順番に基地局が呼び出し信号を発し、該当する局がそれに応答して通信回線が設定されてのち、内容が伝送されます。いわゆるダイヤルアップに相当する動作が必要です。操作は自動でやるとしても、そのための時間が無駄です。

そこで、このシステムではGPSが正確な時刻を提供していることに着目して、すべての局にはGPSで制御された時刻を基準に通信のための動作を割り当てておけばダイヤルに相当する動作は不要となり効率的な時分割通信が行えます。

ナビゲーション用の最も簡単なGPS受信機でも1μ秒以下の精度でグローバルに時刻を合わせることができます。

図 23、図 24 に「管理センター」の運航支援卓の表示例を図 25、図 26 に「船舶局」の表示例を示します。

表示画面の右の部分には画面上のターゲットをクリックするとその船の船名、座標、針路、船速、入域順番、作業状況などのデータが表示されます。

正確な位置と時刻の情報をベースとしてフリートが安全に効率よく作業を進めるためのインフラとしてGPSは大きな役割を果たしています。

警備艇など編隊行動する目的には非常に有効です。



図 23 運行支援卓の表示ノースアップ（全体図）

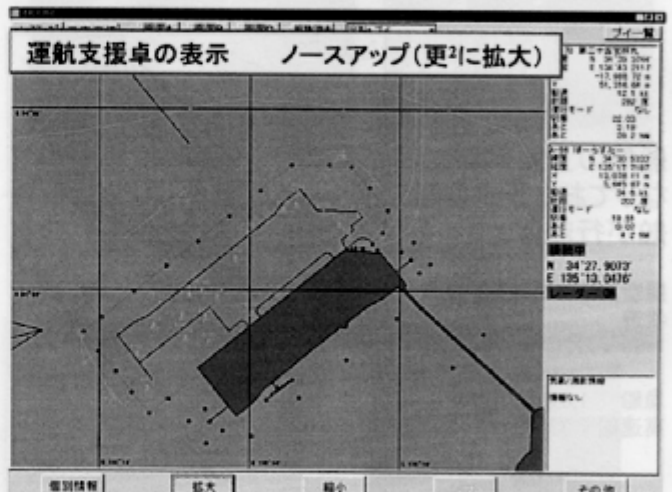


図 24 運行支援卓の表示ノースアップ（更<sup>2</sup>に拡大）

# FAAによる広域GPS補強システム

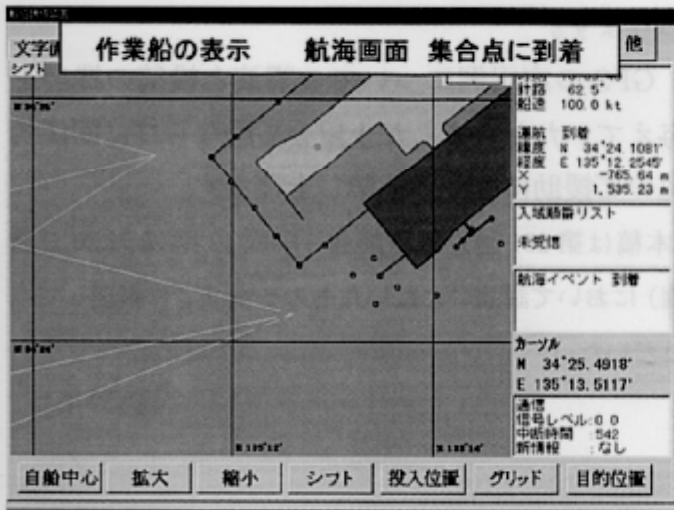


図 25 作業船の表示航行画面集合点に着

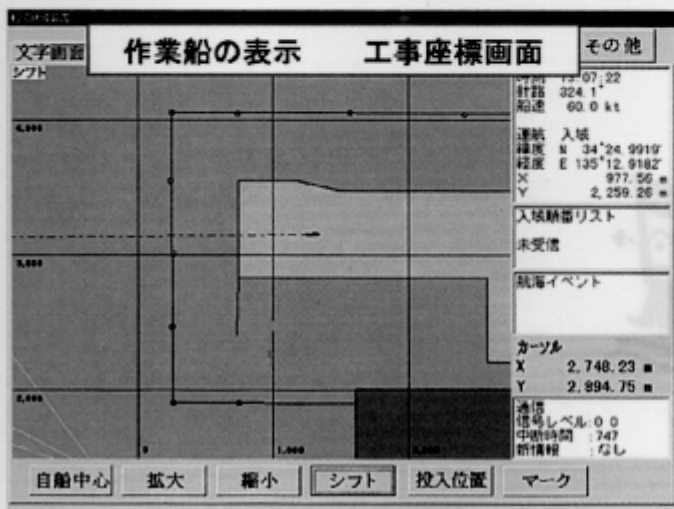


図 26 作業船の表示 工事座標画面

正確な時間を世界中で共有できることはIT時代を迎えるにあたって、重要なこととなってきました。インターネットを通じて広く世界中で電子商取引が行われるようになると、発信、受信した情報に正確な共通のタイムスタンプが付されていることは、必須の事となってきます。

GPSは地球上のあらゆるところで比較的容易に、この要求を実現してくれます。

## 4. 将来のナビゲーション

カーナビや船舶でのGPS利用は非常な便宜を与えてくれました。しかし、航空機ではまだGPSに全面的に頼るところまではきていません。

GPSをさらに信頼性と精度を向上させて、現在の航空機ナビゲーション支援システムに替えよ

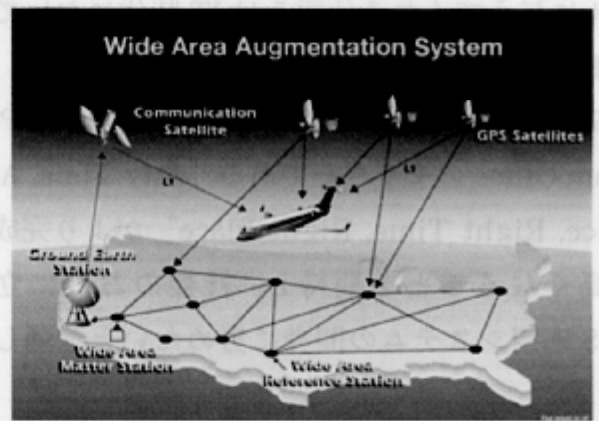


図 27 WAAS

うとしています。

その構成要素の一つにWAAS (Wide Area Augmentation System) があります。GPS電波を広域に配置した多数のモニター局で受信して、そのデータを解析しGPS電波の誤差や健全性を評価します。通信衛星を通じてその結果を刻々と利用者のGPS受信機に送り込み精度を高め、信頼性を高めるものです。

米国、ヨーロッパ、日本それぞれが地球を3分した空域をカバーするように開発を進めています。実際の航空機を使ったテストも実施され準備が進んでいます。

米国の計画では2010年には現在のシステムを終結しようとしています。

## 5. おわりに

GPSの応用は上記のほか、農業、鉱山、電力事業、宇宙作業などあらゆる分野に広がろうとしています。

1973年に米国防省により開発に着手されたGPSはGPS暦元年となっている1980年1月16日の実験開始、1993年の初期運用能力宣言、1995年の完全運用能力宣言、に続いて1996年民生用サービスの継続的無償提供を約束する大統領決定の発表がなされました。軍事目的から始まったGPSですが民用においても世界的に欠くことのできない存在となってきました。情報を構成する



基本的な事項である「場所」と「時刻」をグローバルに与えてくれる仕組みはIT時代においてますますその重要性を増してきます。

GPS 開発の推進の中心である GPS Joint Program Office のモットーである “Any Time, Any Place, Right Time, Right Place” がより完成度が高くなることを期待し、社会のお役に立つ GPS 応用システムの開発に努めたいと願って

おります。

GPS の応用例についての講演と投稿の機会を与えていただきました土屋会長殿ならびに関係各位のご援助に厚く御礼申し上げます。

〔本稿は第 291 回月例懇談会（平成 12 年 10 月 20 日開催）において講演いただいたものを講演者に整理していただいた。〕

(以 上)

