

## 差動GPS測位装置による海面移動体測位の基礎試験について

月岡 哲\*<sup>1</sup> 青木太郎\*<sup>1</sup> 小原 孝文\*<sup>2</sup>

実海域で細径ケーブル無人潜水機の測位は、母船を基準とする相対測位が行われているが波浪や潮流により母船が定点にとどまるのは難しい。母船の座標を地球座標系で高精度で求めるために、GPSの高精度利用形態である差動GPSがあるが、無人潜水機の運用支援や誘導制御にはリアルタイムでなくてはならない。干渉測位用受信機を利用し船の座標を非常に正確に測定した例があるが、ここではリアルタイム性を重視し機器組み込み用小型GPS受信機を利用してRTCM104メッセージによるDGPS装置を試作し、移動体として自動車を利用して測位座標と走行経路を比較し、DGPSの測位精度を確認する基礎試験を行った。測位座標を国土基本図に重ねた結果、走行経路と良く一致すること、測位データに時間変動が少ないこと、短時間の進路変更時の追従性も良好であり、水中の無人潜水機を支援する母船の測位や、無人潜水機の誘導制御に期待できることがわかった。

キーワード：リアルタイムDGPS, RTCM104, 細径ケーブル無人潜水機

## The Basic Experiment of the Realtime Differential GPS Positioning System for UROV Support Vessel

Satoshi TSUKIOKA \*<sup>3</sup> Taro AOKI \*<sup>3</sup>  
Takafumi OHARA \*<sup>4</sup>

Recently, the expendable optical fiber cable using a remotely operated vehicle (UROV) has been presented for underwater investigation. The support vessel on the surface has difficulty keeping her position because of the water current or wind. The position of the support vessel is very important, because this is the reference for her acoustic positioning system and it uses this to decide the absolute position of UROV measured relatively by an acoustic positioning system. GPS will provide highly accurate navigation and positioning service over the entire world. The Standard Positioning Service (SPS) on-board a support vessel is insufficient for navigation or positioning of UROV in a small area for underwater observation using her acoustic positioning system because of using C/A code at a 100 meter accuracy level. With differential GPS operation, the positioning error reduces to within

- 
- \* 1 深海開発技術部
  - \* 2 運航部
  - \* 3 Deep-Sea Technology Department
  - \* 4 Ship Operations Department

10m with RTCM 104 message from the reference station placed at a known location, and it is possible to meet the requirement and be able to prepare automatic operation near the seafloor. The first thing indispensable to positioning is realtime operation for these purposes. The on-board system size is small, easy to control through communication port of a computer. In this experiment, a low cost effective board receiver: the Rockwell NavCoreV was used for OEM applications. The realtime positioning data were plotted on a detailed map on a scale of 1 to 2,500, and it showed the route clearly along a road without any deviation even when changing its velocity. The realtime DGPS system will provide position measurement of the support vessel correctly, and the control of UROV navigation automatically. This paper reports on the system and its positioning results by using the realtime differential GPS system for vessel positioning.

**Key words :** Realtime DGPS, RTCM104, UROV

## 1 はじめに

近年、無人潜水機（以下、無人機とする）を利用した海中作業や海底での観測・調査が行われるようになってきた。これに伴い、たとえば海底での生物資源調査などでは、海水中にいる無人機の位置を正確に把握し、調査結果と対応づけることが求められている。海中では電波が伝わりにくいためGPSなど電波測位ができないので、音響による測位が不可欠である。支援母船に備えられた音響測位装置は、無人機に搭載した音響トランスポンダが送波する音波を受波し伝搬してきた伏角と偏角、さらに伝搬に要した時間を測定し、支援母船と目標物の相対位置を測位する。このとき無人機を測位する基準点は支援母船となるが、支援母船も潮流や波浪の影響を受けるので、長時間にわたり定点にとどまることは難しい。このため、測位系を決めるために潮流などの影響を受けない基準点としてトランスポンダを海底に設置し、これを測位系の座標原点を設定するための基準点とすることも多い。近年、この座標原点を緯度・経度などの地球座標系で表すために、GPSが利用されるようになってきた。また、GPSと音響測位装置と組み合わせて、無人潜水機の位置を地球座標でわかれば、あらかじめ指定した経路に沿って航行する航走制御に応用することが期待できる。この場合、水中の無人潜水機はGPS測位ができないので、基準点となる海面の支援母船などの座標をGPSで測位し、音響測位された水中の無人機の相対位置を支援母船の座標と重ねて地球座標に変換すればよい。しかし、狭い範囲を移動する無人潜水機の誘導制御にGPSを応用するには、GPS単独測位で約100mの測位誤差を有することから、測位精度が不十分であることが確認された<sup>1)</sup>。GPSの高精度利用形態には差動GPSが

挙げられ、単独測位用受信機を利用するトランスロケーション方式と、より高精度な測位が可能である干渉測位用受信機を利用する干渉測位方式に分けられる。無人潜水機の測位に利用するにはリアルタイムで処理が行えることが必要である。また、無人潜水機に搭載するには小型・小電力であること、コンピュータを接続し簡単に受信機の制御が行えることも必要となるので、今回の試験では機器組み込み用単独測位受信機を利用した（以下、トランスロケーション方式をDGPSとする）。その結果、3次元座標の補正データを通信するDGPSでは、2台の受信機が受信する衛星が同一ならば測位精度が向上するが、受信する衛星が互いに異なる時測位精度は単独測位より劣り、2台の受信機が受信する衛星の組み合わせを管理する必要があることがわかった<sup>2)</sup>。また、補正データ伝送量は多くなるが疑似レンジ補正のDGPSを試作し、実験室において測位精度を確認したところ、3次元座標での補正よりばらつきが小さく良好な結果を示した。そこで、疑似レンジ補正DGPSシステムで移動体を利用した測位試験を行った。これは正確な移動経路の特定が難しい洋上と異なり、陸上で記録した測位データは、道路地図と比較することで測位データの評価を簡単におこなえるからである。試験には自動車を利用したので、測位データの評価には道路地図が適当であり、1:2500の縮尺の国土基本図に自動車で行って得たGPS測位データをプロットした。その結果、疑似レンジ補正を行った場合、自動車の走行経路と測位結果は良く一致し、水中の無人潜水機を支援する母船の測位などに期待できることがわかった。

## 2 測位系について

GPSはWGS-84 (World Geodetic System) と呼ばれる地球中心と楕円中心が一致した回転楕円体を作る座標系で測地基準系1980 (GRS-80) とほぼ等しい準拠楕円体に基づき、図1のように地球上の位置は測位座標系 $(\lambda, \phi, h)$ , または3次元直角座標系 $(X, Y, Z)$  で表現する。ただし $X, Y, Z$ 軸は、準拠楕円体の回転軸の回転軸方向を $Z$ 軸、グリニジ基準子午面と赤道面が交わる方向を $X$ 軸、これらの2軸と右手系をなすように $Y$ 軸を選ぶものとする。ここで $\phi, \lambda, h$ はそれぞれ準拠楕円体での緯度、経度、高さを示す。日本測位系では準拠楕円体にベッセルが算出した値を用いているので、GPS測位データを直接日本測地系に取り込むことはできず座標変換が必要となる。一般に日本測地系 $(X_1, Y_1, Z_1)$  及びWGS-84 $(X_2, Y_2, Z_2)$  の変換には、以下の式で示される楕円体変換が用いられる<sup>3)</sup>。

$$\begin{bmatrix} X_2 \\ Y_2 \\ Z_2 \end{bmatrix} = (1+S) \begin{bmatrix} 1 & -\theta & \omega \\ \theta & 1 & -\xi \\ -\omega & \xi & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_1 \\ Y_1 \\ Z_1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} dX \\ dY \\ dZ \end{bmatrix}$$

$$\theta = \omega = \xi = 0, S = 0$$

$$dX = -146.43, dY = +507.89, dZ = +681.46$$

ただし $\theta, \omega, \xi$ と $S$ は、それぞれ $X, Y, Z$ 軸回りの回転とスケールファクタである。また、 $dX, dY$ と $dZ$ は各軸方向の平行移動量を示す。

一方、地図は用途別にさまざまな投影法により描かれているが、国土基本図は全国土を19の座標系から構成し、中央経線を各座標系の原点を通る経度線とする横メ

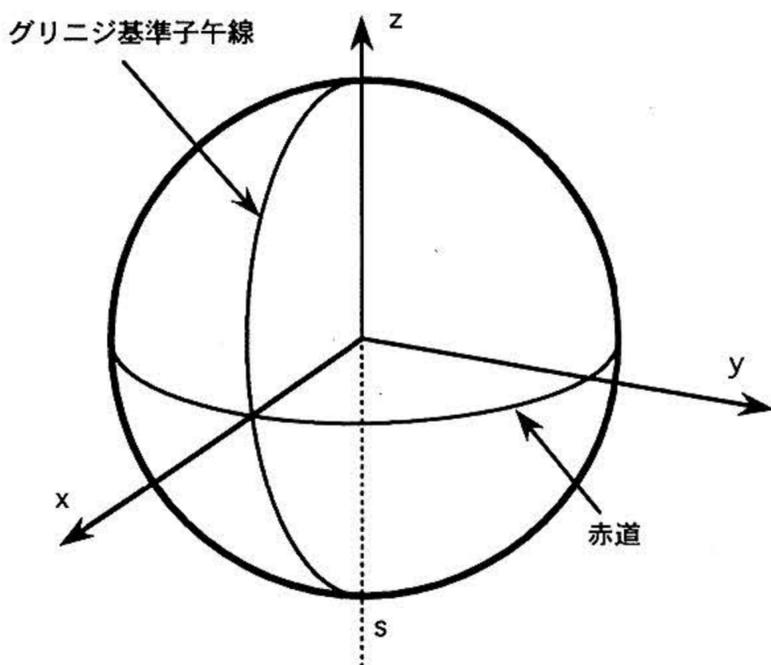


図1 WGS-84 測位系  
Fig. 1 World Geodetic System 1984

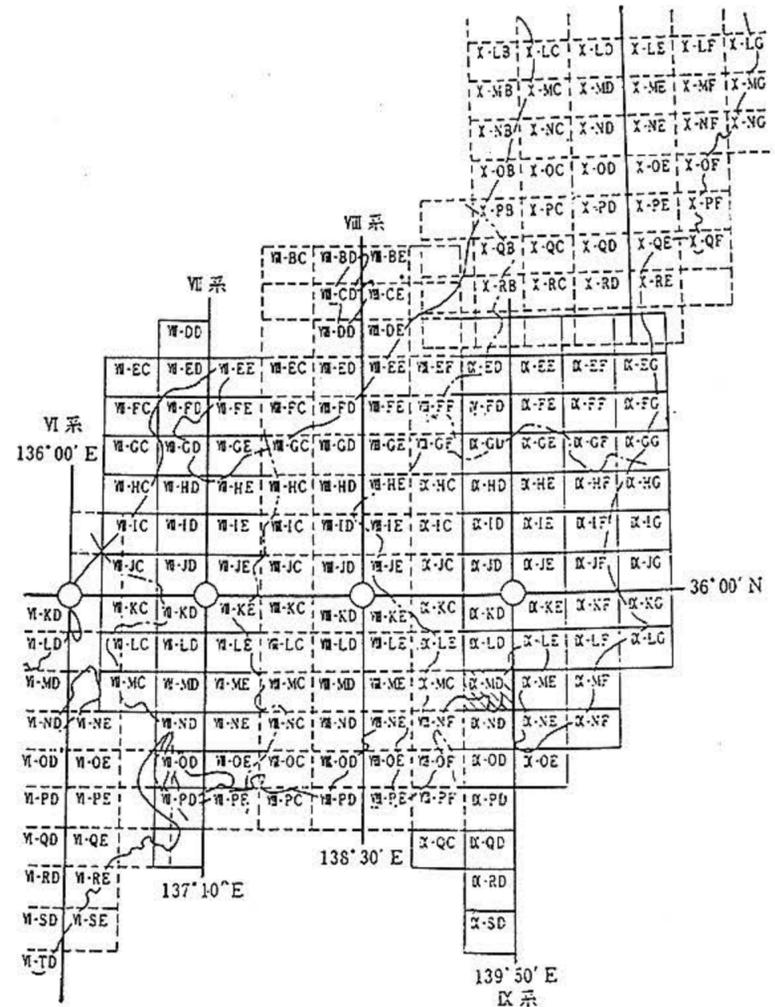


図2 平面直角座標系の原点 (一部) と国土基本図の分類<sup>7)</sup>

Fig. 2 The index of maps drawn on a scale 1/2,500 (Circles indicate origins in each area)

ルカトル図法で投影されている。図2は日本における平面直角座標系の原点の一部と国土基本図の近畿、中部西、中部東及び関東地域の図葉の分類を示す。図中の白丸は各地域での原点を示す。このように複数の座標原点を定め、細かく地域が分割することで、横メルカトル図法で投影したときに地図を距離で正規化し、かつ距離の歪みを小さくできる。基本図にGPS測位データを正確にプロットする場合、WGS-84座標系などの基準楕円体上での座標から、基本図における座標原点から測位座標までの距離を示す直角座標系に変換する必要が生じる。しかし、今回は広範囲にわたる測位を行わないので基本図における座標原点を座標変換に利用せず、基本図(IX-MD55-2) 上にある海洋科学技術センター基準点を原点、 $x, y$ 軸をそれぞれ経度、緯度とする平面直角座標 $(x, y)$  を定め、測位データを以下の近似式で変換した。図3は海洋科学技術センター基準点を示す。ここでは原点における緯度・経度の1秒あたりの弧の長さを変換の基準にした<sup>4)</sup>。また、座標変換に際し測位座標系の緯度と経度のみを考慮し、高度の変換は行っていない。



測位系	経度 $\lambda_0$	緯度 $\phi_0$	高度 [m]
WGS-84 系	139°39'01".849E	35°19'10".436N	38.09
東京測地系	139°39'13".276E	35°18'58".733N	3.04

図3 海洋科学技術センター基準点  
Fig. 3 The Reference (Surveyed) Point on WGS 84 and Tokyo Datum in JAMSTEC

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\pi}{648000} \frac{a \cos \phi_0}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_0}} \\ 0 \\ 0 \\ \frac{\pi}{648000} \frac{a(1-e^2)}{(1-e^2 \sin^2 \phi_0)^{3/2}} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda - \lambda_0 \\ \phi - \phi_0 \end{bmatrix} \dots\dots\dots(1)$$

ただし  $a$ ,  $e$  はそれぞれ地球の赤道半径, 扁平率の逆数で GRS-80 に準拠する値 ( $a = 6,378,136$  m,  $e^2 = 0.006694470$ ) とし,  $\phi$  は緯度を示す。国土基本図で区域関東 (記号 IX) の座標原点と海洋科学技術センター基準点の距離を表 1 に得た。ここで, 2 点の緯度・経度方向の距離を式 (1) で計算するとそれぞれ 16,324 m, 75,852 m である。また, 海洋科学技術センター基準点の東京測地系座標を基本図にプロットし, 地図上で 2 点の経度・緯度方向の距離を求めるとそれぞれ 16,324 m, 75,852 m

で, 1 km あたりの歪みは表 1 に示すようにそれぞれ 0.673 m と 0.290 m である。弧の歪みが生じる原因には, WGS-84 測位系から日本測地系への変換を行っていないこと, 式 (1) で用いた近似によるものが考えられる。しかし, 疑似距離補正 DGPS の測位精度が約 10 m 以下とされていること, 国土基本図の 1:2500 の図葉は東西に 2 km, 南北に 1.5 km の狭い範囲の地図であること, 図葉内に WGS-84 測位系で示される基準点がありここを座標原点に設定できること, 複数の図葉にまたがる範囲で測位は行わないこと等の理由から式 (1) の近似で座標変換を行っても特に問題はないと考えた。

### 3 DGPS 測位について

GPS 衛星は L1, L2 の 2 つの帯域の電波を送信するが, 一般の単独測位用受信機は L1 帯で送られる C/A コードを利用し, 測位精度は約 100 m である<sup>5)</sup>。測位誤差の要因として以下のものがある。

- SA 誤差 (Selective Availability errors)
- 電離層での遅延 (Ionospheric delays)
- 対流圏での遅延 (Tropospheric delays)
- 軌道誤差 (Ephemeris error)
- クロックエラー (Satellite clock errors)

e. のクロックエラーは基準となる受信機と測位を行う受信機が同じ衛星を受信していれば, DGPS 補正によって完全に相殺できる。d. 軌道誤差は一般に 30 m 以上と大きな誤差となって現れるが, これも DGPS 補正により相殺できる。a. SA 誤差は測位精度を人為的に低下させているが, 移動局で補正データが得られる周期が SA の時間変化に比較して短ければ, DGPS 補正により相殺できる。基準点と測位点が近くにあれば, 衛星から伝搬する電波の経路が各受信機ではほぼ等しくなり, 補正は完全となる。しかし, 基準点から測位点が遠ざかるにつれ, b. 電離層での遅延と c. 対流圏での遅延については, 1 つの衛星から 2 つの受信局まで電波が伝搬する経路が異なるので誤差を完全に相殺できず, 測位精度が低下する。

表 1 近似式に含まれる誤差について  
Table 1 Error prediction in Eq. (1)

	Along longitude [m]	Along latitude [m]
Computation by Eq. (1)	16,324	75,852
Measured on Map	16,335	75,830
Distortion per 1,000m	0.673	0.290

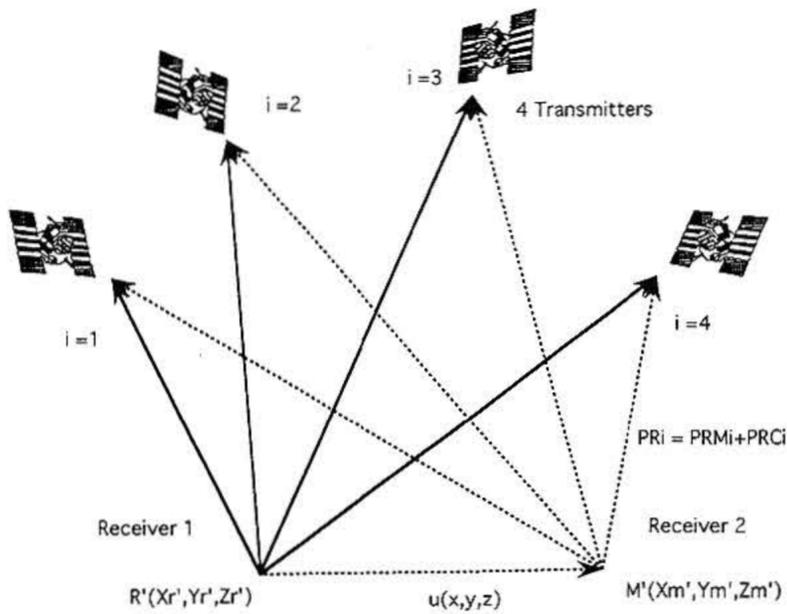


図4 DGPSにおける衛星と受信機の配置  
Fig. 4 Differential GPS geometry

このため、DGPSは図4のように地球上にある複数の受信機が同一のGPS衛星を捕捉していることを前提とする。まず正確に座標がわかっている場所に設置したGPS受信機を基準局Receiver 1とし、ここでは既知の座標と実際の計測値から、ある時刻での誤差量を演算する。この誤差量に基づく補正値は、未知の場所に置かれた移動局の受信機Receiver 2に無線などで送られ、測位演算の補正に利用される。これにより単独測位では約100mであった測位精度が10m以下に改善される。DGPSの補正方法は、次の2つの方法がある<sup>6)</sup>。

1) 基準局の直交座標で示される測位座標を利用して補正を行う手法である。基準局のGPS受信機が測位した座標  $(Xr', Yr', Zr')$  と、既知である真の座標  $(Xr, Yr, Zr)$  との差を求め、測位誤差を3次元座標系で表し移動局に通信する。移動局は基準局と等しい測位誤差をもつと仮定し、移動局で測位した座標  $(Xm', Ym', Zm')$  をこの値で補正し、移動局の真の座標  $(Xm, Ym, Zm)$  とする。

$$(Xm, Ym, Zm)^T = (Xm', Ym', Zm')^T - \{(Xr', Yr', Zr')^T - (Xr, Yr, Zr)^T\} \dots\dots(2)$$

2) 受信機とGPS衛星までの疑似距離を補正する手法である。GPS受信機は受信する複数のGPS衛星が送信する航法メッセージから各衛星の座標を知り、受信機と各衛星までの疑似距離を計算する。受信機の座標は、各衛星の座標と疑似距離をもとに幾何学的に計算する。

測位誤差は疑似距離を正確に求めることで小さくすることができる。まず、基準局では航法メッセージから得た各衛星の座標と、あらかじめわかっている受信機の座標から各衛星までの真の距離を演算する。次に補正値と

して、各衛星までの疑似距離を求め、すでに求めた各衛星までの真の距離との差を補正値とする。移動局は、受信している衛星までの航法メッセージから得た疑似距離を補正し座標を演算するので、より高精度の測位ができる。

1)の方法は予測される誤差が、 $x, y, z$ の3成分で示されるので、基準局が通信するデータ量は後者より少ない。しかし、誤差は測位した衛星の組み合わせにより異なるので、移動局が座標演算のために受信している衛星が、基準局と同じ組み合わせでなくてはならない。しかし、測位系に基づく絶対位置でなく海面の2点間の相対位置などを計測したいときには、基準局の座標を必要としない簡便な方法である。

2)の方法では、基準局は受信できるすべてのGPS衛星までの疑似距離を測定する。基準局の座標は分かっているため、各衛星から送られてくる軌道情報をもとに各衛星までの真の距離が計算でき、補正値が求められる。移動局はこの値をもとに受信している衛星までの疑似距離を補正し、位置を演算する。この疑似距離補正はRTCM (Radio Technical Commission for Maritime Services)で標準化が進み、RTCM104メッセージとして利用されるようになってきた。補正に使用するRTCM104メッセージは、機能別に複数のメッセージから構成されているが、ここではタイプ1のメッセージを利用した。タイプ1は、以下のように移動局が測位演算をする時刻 $t$ に利用する疑似距離補正値 (Pseudo Range Correction)  $PRC(t)$ を、基準局が計算した時刻 $t_0$ での疑似距離補正値 $PRC(t_0)$ と、算出した補正値の時間変化量 (Range Rate Correction)  $RRC$ の和で表す。

$$PRC(t) = PRC(t_0) + RRC \cdot (t - t_0)$$

この補正値は移動局に転送され、図3の破線に示す移動局で計測した各衛星までの疑似距離に以下の式のように加算され移動局の測位演算が行われる。

$$PR(t) = PRM(t) + PRC(t)$$

#### 4 DGP補正方法の比較

まず、実験室で直交座標と疑似距離の異なる補正を行うDGPSシステムを試作し、それぞれの測位データの評価を行った。2台のGPS受信機のアンテナは屋上に一定距離で固定し、図5は実験で利用したシステムのブロック図を示す。基準局と測位局の通信には無線を利用した。通信はコントローラからRS232Cの制御線を利用して通信開始・停止の制御を行った。また、通信方式はFSK変調で、通信速度は9,600bpsとした。

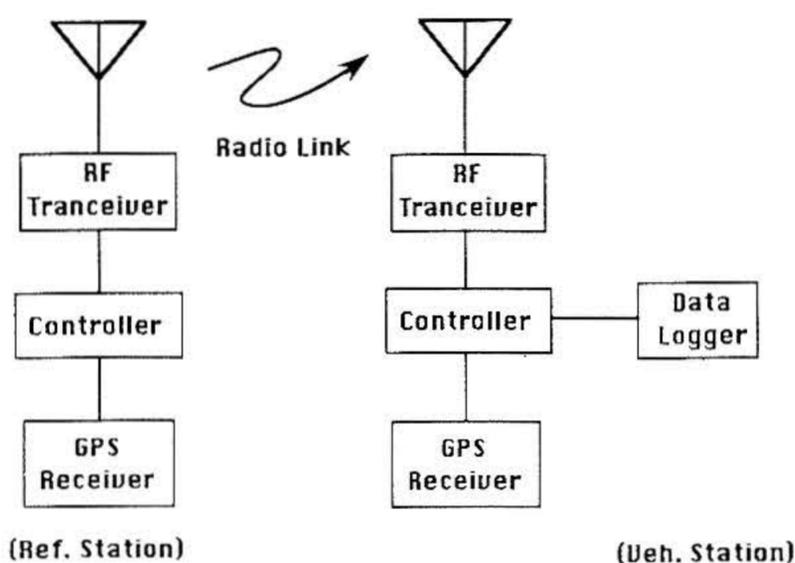


図5 リアルタイム DGPS システムのブロック図  
Fig. 5 Block diagram of realtime DGPS

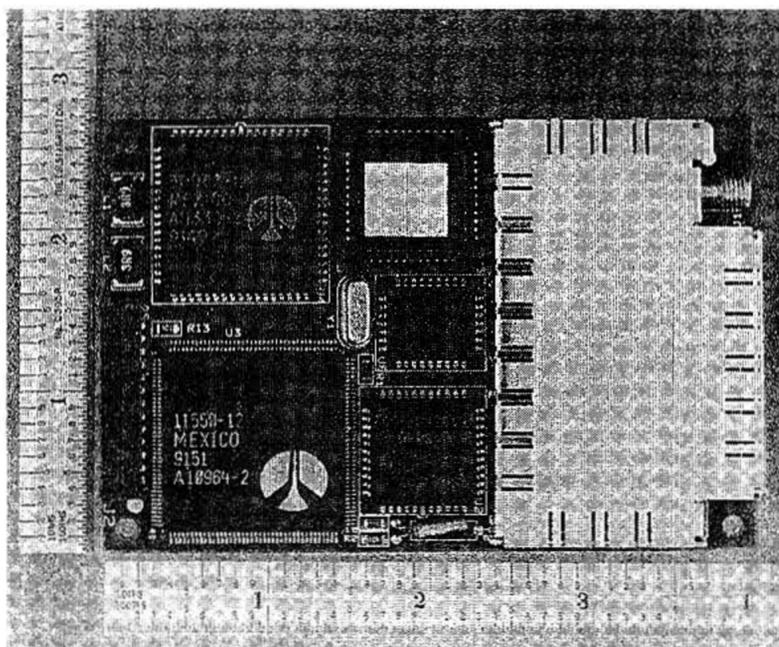


図6 機器組込用 GPS 受信機  
Fig. 6 Top view of "Rockwell NavCore V" GPS receiver engine

#### 4.1 直交座標軸補正 DGPS の構成

移動局と測位局に使用したGPS受信機はロックウェル社のNavCoreVで外形を図6に示す。同一の製品を用いたのは受信機に組み込まれたソフトウェアで制御されている衛星の選択条件が同じになるように配慮したためである。受信機はRS232Cを介してコントローラと接続し、コントローラに組み込んだソフトウェアによって測位座標の表示を行うほか、受信する衛星の選択などの指令を与えることができる。コントローラは工業用ボードコンピュータを利用し、移植したプログラムの開発はアセンブラとC言語で行った。図7は移動局に移植したプログラムのフローチャートである。DGPSでは2つの受信機が測位のために受信する衛星の組み合わせが同一でなくてはならない。そこで、DGPSモードでは基準局と測位局が受信している衛星番号を比較し、一致して

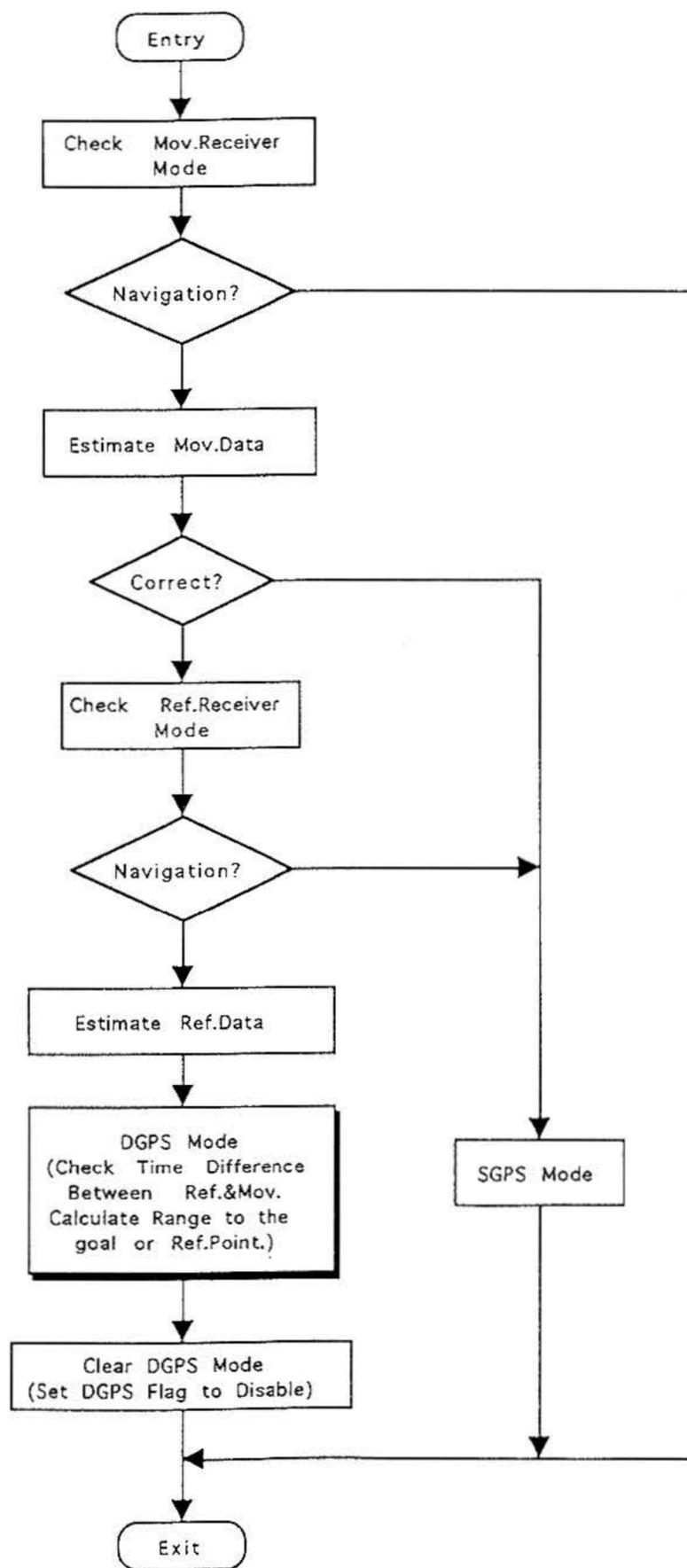
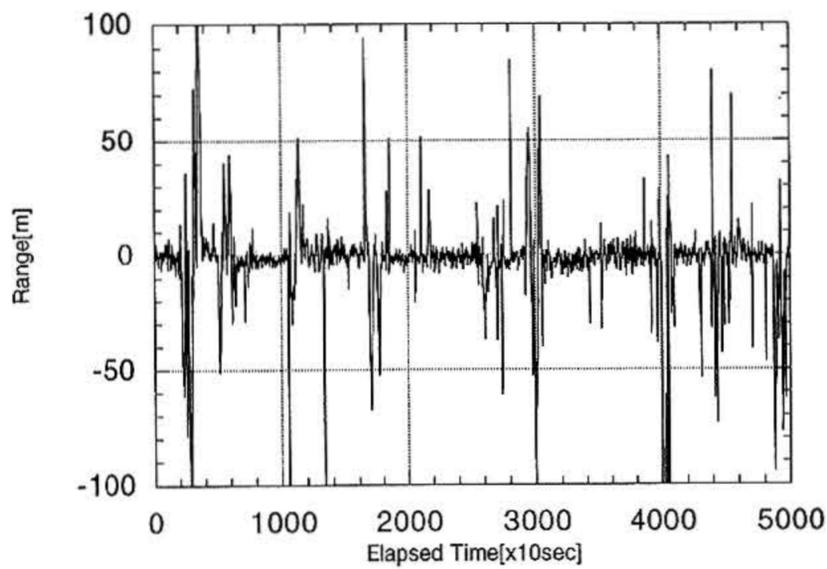


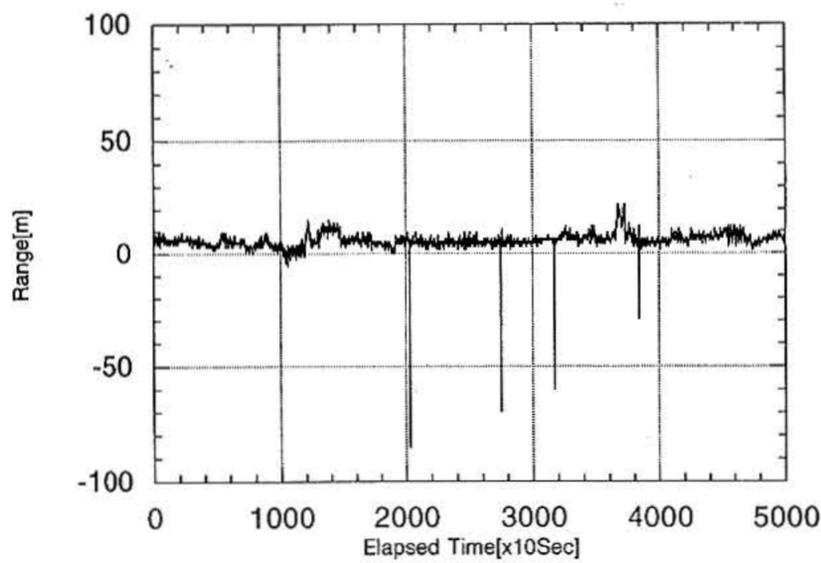
図7 直交座標系で補正を行う移動局の制御アルゴリズム  
Fig. 7 Moving station control flow in three-dimensional correction

いないときは測位局が受信する衛星の組み合わせが基準局と同じになるまで、コントローラから受信衛星を変更する指令を与えた。衛星の選択指令を与えた後、受信機が安定するまでの待ち時間は60秒とした。

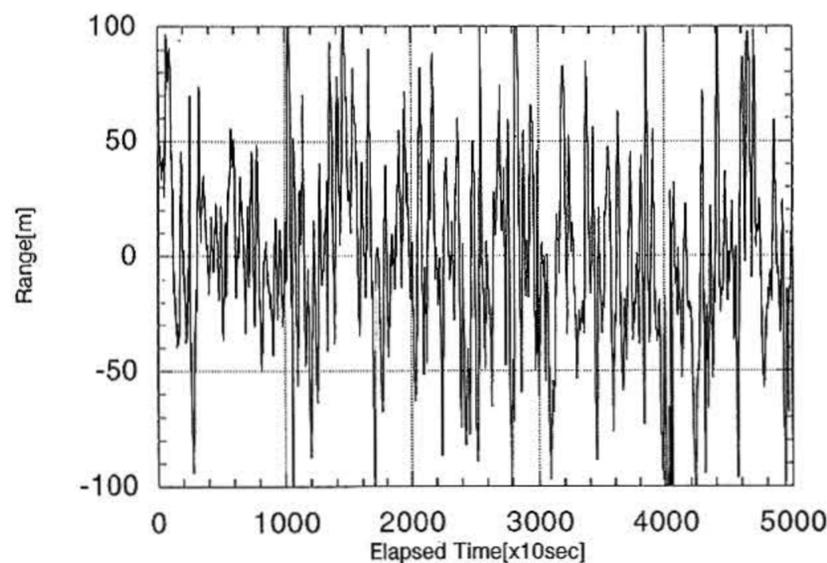
基準局からの補正值は、基準局での測位が有効である時だけ測位局に通信した。基準局の測位データは1秒ごとに通信回線を通じて、移動局が持つコントローラに伝送した。2つの受信局の測位データは、10秒ごとに測位



(a) 直交座標での補正を行った場合  
(a) with three-dimensional Error Corrections



(b) 疑似距離補正を行った場合  
(b) With Pseudo-range Error Correction



(c) 補正を行わなかった場合  
(c) Without Error Correction

図8 アンテナ固定による測位データの一例  
Fig. 8 Positioning results in the case of receivers fixed

局のデータロガーに受信した衛星番号やxDOPと共に記録した。

#### 4.2 疑似レンジ補正DGPS

測位局は4.1と同一のシステムを利用し、基準局をMAGNABOX9112Aとした。疑似レンジ補正は受信している衛星の組み合わせの影響を受けないので、受信機の機種は特に考慮しなかった。MAGNABOX9112Aは12チャンネルまでの衛星を捕捉することができるほか、疑似距離補正データを簡単に利用できるような独立したシリアル回線を持つ。基準局からはRTCM104 Type 1メッセージを通信装置を通じて移動局へ送信した。一方、測位局はコントローラに組み込んだソフトウェアを修正したほか、GPS受信機の内蔵ROMを最新のソフトウェアが書き込まれたROMに交換し、RTCM104メッセージを処理できるようにした。

#### 4.3 補正手法による比較

基準局と移動局のアンテナを定点に固定すれば式(2)は以下のように変形できる。ここでuは2つのアンテナの相対位置ベクトルを表す。

$$(Xm', Ym', Zm')^T - (Xr', Yr', Zr')^T = u \dots (3)$$

図8(a)は基準局と移動局の測位データから(3)式の相対位置ベクトルのX成分の時間変動である。このグラフからわかることは、直交座標補正では極端に測位精度が下がる場合がある。精度が低下した時刻のそれぞれの受信衛星を調べると、受信する衛星の組み合わせが異なり、DGPSの条件が成立せず基準局で演算した補正値が測位局では役に立たないことがわかった。ばらつきを正規分布で近似すると標準偏差は約12mであった。コントローラに組み込んだソフトウェアで衛星の組み合わせが同一になるよう受信機に指令を与えていたが、安定するまでに時間を要し測位精度があまり改善されていないことがわかる。直交座標系の補正を行うシステムは、補正データの容量が小さいので伝送に要する時間及び伝送エラーも小さくなることを期待できる。しかし、移動局が基準局から遠ざかるにつれ、受信する衛星の組み合わせを管理することがより難しくなるであろう。

(b)は疑似レンジ補正による測位局の測位を補正した場合のばらつきを示す。縦軸は測位座標系を式(1)で平面直角座標系に変換したx成分である。ばらつきを正規分布に近似すると標準偏差は約4.0mであった。このグラフから疑似距離補正を行った測位座標のばらつきは、直交座標系の補正に比較してはるかに小さいことがわかる。これは疑似距離補正の場合、測位結果に補正を行わず、疑似距離に対して補正を行うため、受信してい

る各衛星の補正值が得られれば補正が行えるからである。試作したシステムで基準局とした受信機は12衛星までの疑似距離補正量が演算できるので、移動局ではコントローラにより通信された各衛星ごとの補正值の中からGPS受信機が選択している衛星の補正值を抽出して受信機に与えればよい。コントローラは受信機に受信衛星の指令を行わないので、測位データが安定すると思われる。比較に補正を行わない単独測位で得られた測位のばらつきを(c)に示す。(a)、(b)に比較して一様に大きなばらつきを生じていることがわかる。

以上の結果から、リアルタイム DGPS 測位基礎試験は通信する補正データの容量が増えるが測位データのばらつきが小さい疑似距離補正を行うことにした。

### 5 移動体を利用した基礎測位試験とまとめ

移動局は図9(a)のように構成し、移動体に利用した自動車に(b)のように搭載した。(a)からわかるように移動局はすべて機器組み込み用の装置で構成した。受信衛星のIDやSAの有無を観測するために小型のLCDをRS232Cを通じて接続した。LCDは画面にタッチキー機能を持ち、通信装置の制御など将来はコントローラが行う簡単な制御を外部から行えるようにした。電源は無人機に組み込んだ場合と同じ条件になるようにバッテリーから供給し、測位データの記録にはハードディスクを利用した。また、基準局は海洋研究棟の屋上に設置し、RTCM104補正值を無線で移動局に通信した。

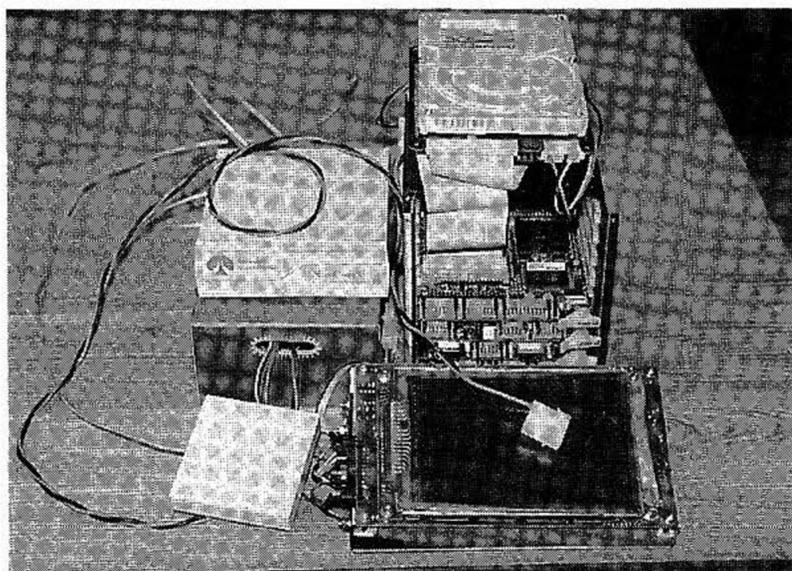
記録した測位座標(WGS-84)を式(1)で座標変換し、地図上のプロットしたところ図10を得た。基本図に示し

た原点は海洋科学技術センター基準点で、座標変換にはこの座標を用いた。まず、(a)は補正を行わないSPS測位での測位結果である。経路は海洋研究棟を出発点として本館前芝生の回りを2周回したのち、日産自動車の岸壁まで往復した。走行時間は約7分であった。次に補正を行ったDGPS測位では(b)の測位結果を得た。経路は海洋研究棟を出発点として本館前芝生の回りを2周回したのち、日産自動車の岸壁で折り返し日産中央研究所前を右折して夏島高校のグラウンドをまわりセンターに戻った。走行時間は約26分であった。また、速度はセンター構内では時速20km/h、一般道では時速25から30km/hであった。

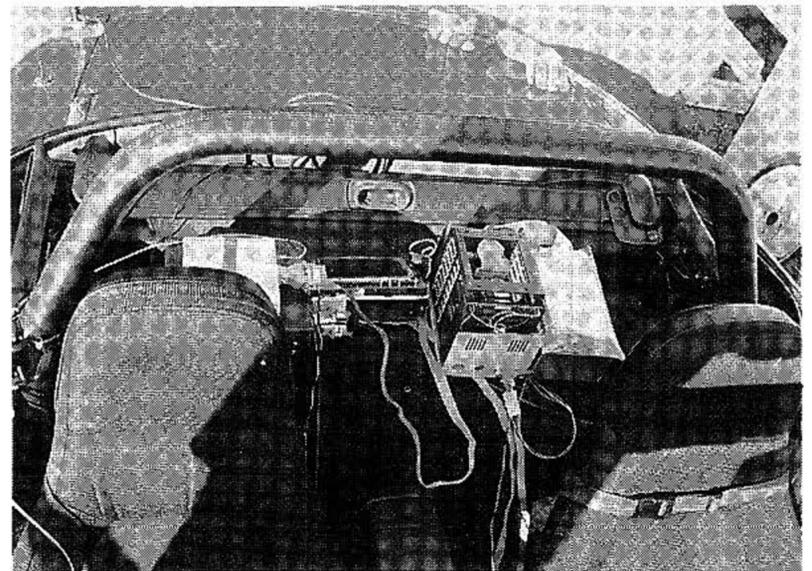
2つの測位結果を比較すると、以下のことがわかる。

- 1) DGPSでは測位データがほぼ道路に重なるが、SPSでは道路に重ならない部分が多く、最大で100mほど逸脱している。
- 2) DGPSでは往路と復路が一致しているのに対し、SPSでは往路と復路がy軸方向に大きくずれている。
- 3) SPS, DGPS いずれでも進路の変更に対する測位結果の追従性は高い。

よって、DGPS測位で移動体の測位を高精度で行えること、速度変化や進路変更時の追従性も良好であることがわかった。また、音響測位で得られる無人潜水機の位置は母船に対する相対位置だが、母船からの移動があまり広範囲でなければ無人潜水機の位置を地球座標系に簡便に変換でき、あらかじめ指定した経路に沿って航行させる航行制御に期待できることがわかった。



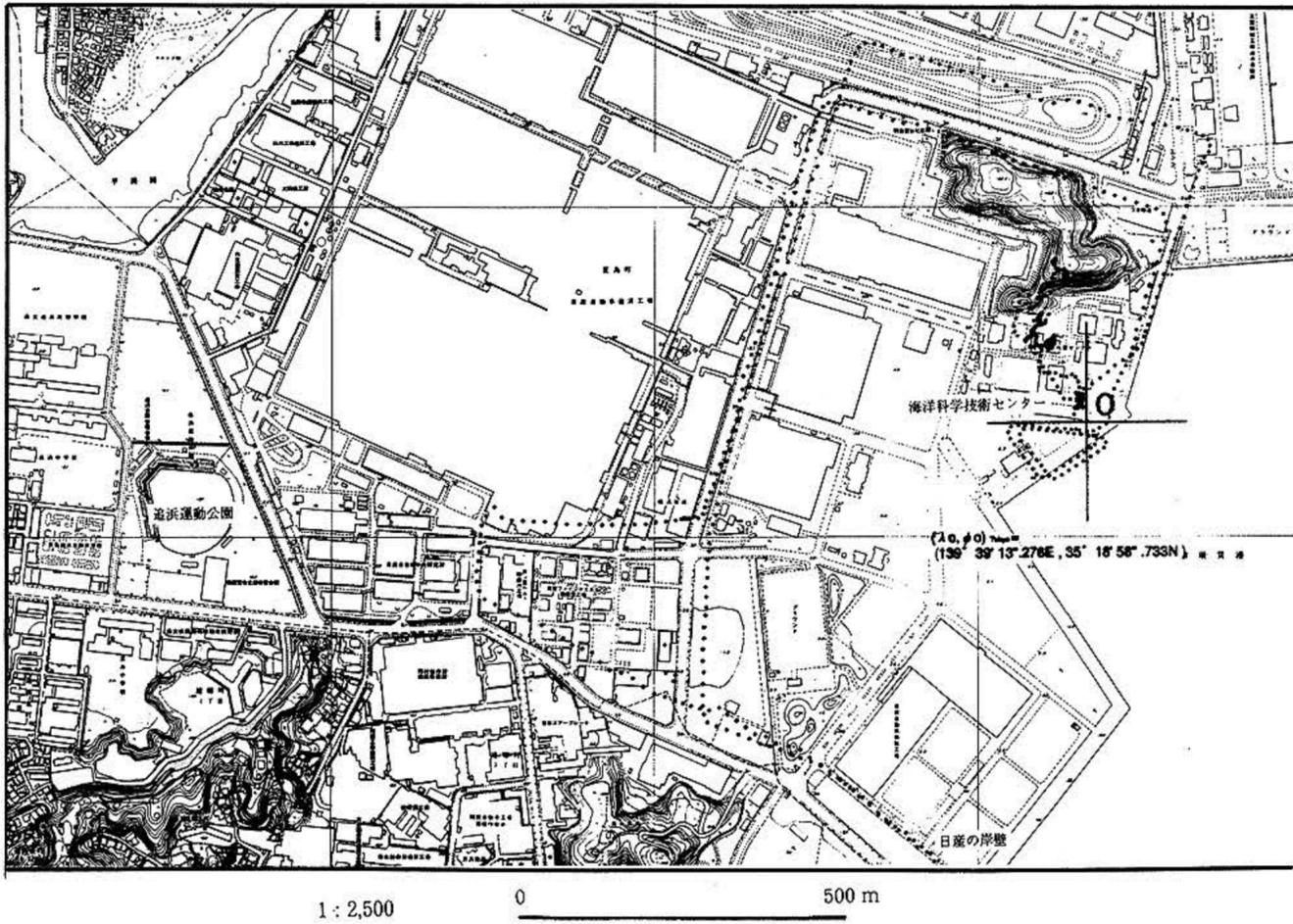
(a) 移動局の構成  
(a) The Moving Station System



(b) 自動車への搭載方法  
(b) Instalation into An Automobile

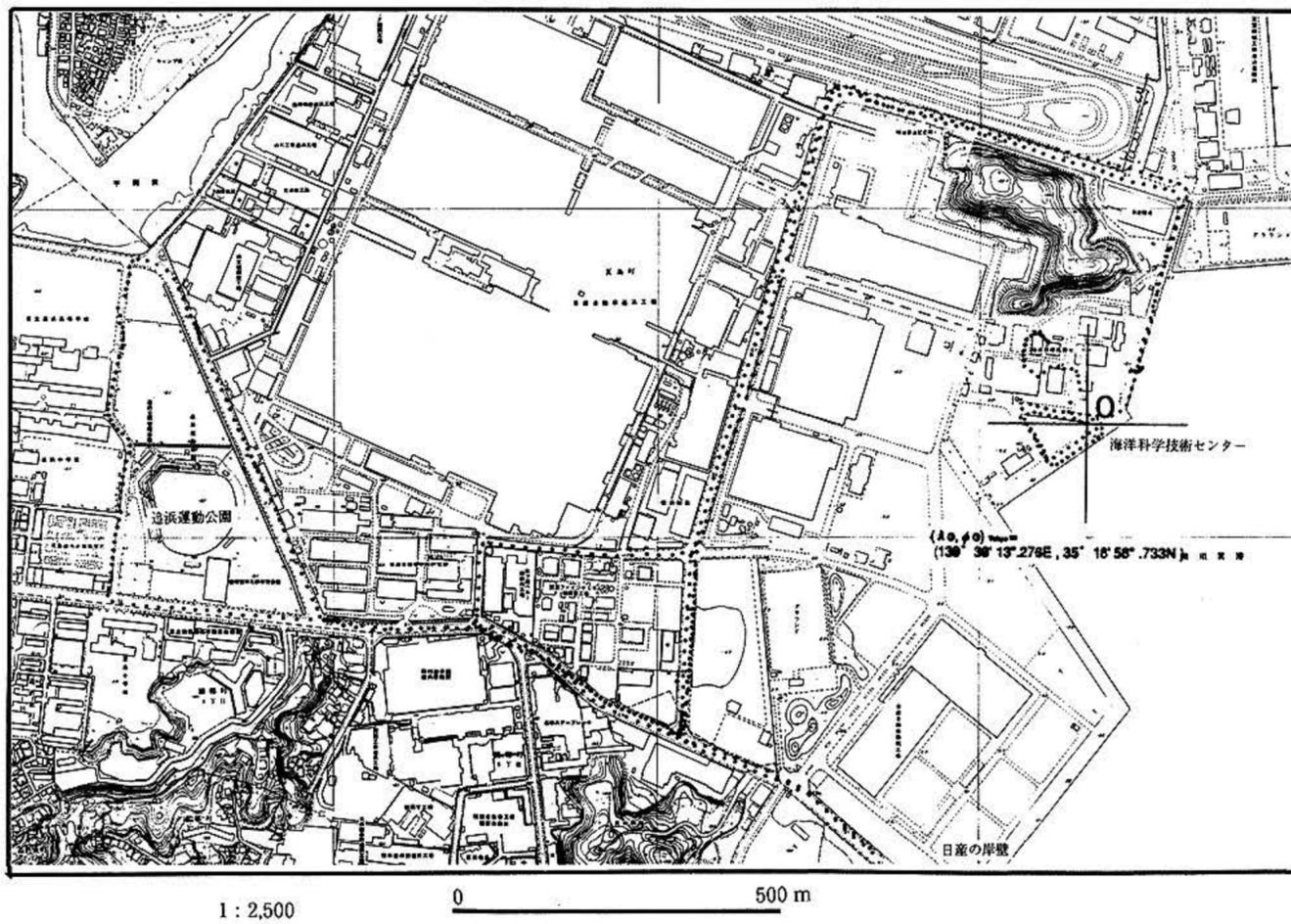
図9 移動局の構成  
Fig. 9 The configuration of the moving station

1:2,500 国土基本図  
IX-MD 55-2 夏島



(a) SPS 測位結果  
(a) SPS measuring

1:2,500 国土基本図  
IX-MD 55-2 夏島



(b) DGPS 測位  
(b) DGPS measuring

図10 測位結果と移動経路の比較  
Fig. 10 Positioning Results and the Route

## 謝 辞

実験を行うにあたり、横須賀市土木部道路管理課の成田氏から夏島地区の道路地図を提供していただき、測位データをまとめることができました。ロックウェルインターナショナルジャパンの山形氏からNavCore評価用の最新ROMを提供していただきました。また、9112Aはセナー株式会社の内田氏より借用いたしました。国土基本図への測位座標プロットは電算室の新井氏に御協力を得ました。各位に深く感謝の意を表する次第であります。

## 参考文献

- 1) 月岡 哲・青木太郎：「無人潜水機自動航行指令システムの研究開発」, 海洋科学技術センター第19回研究報告会, 平成5年9月, 46-47. (1993).
- 2) 月岡 哲・青木太郎：「無人潜水機の位置計測の一手法について」, IM-94-56, 電気学会計測研究

会, 1994年7月.

- 3) 建設省国土地理院：「GPSを用いる公共測量作業マニュアル(案)」, 国土地理院技術資料A・1-No. 159. 平成5年3月, 95 p.
- 4) 国立天文台編：理科年表1991, 丸善株式会社, p 619-622.
- 5) RTCM：RTCM Recommended Standards for Differential NAVSTAR GPS Service, Version 2. 1, Radio Technical Commission for Maritime Services, January 3, 1994.
- 6) D.H. Alsip, J.M. Bulter, and J.T. Radice, "The Coast Guard's Differential GPS Program", Navigation, Vol. 39, No. 4, 345-361, Winter 1992-1993.
- 7) 丸安隆和：新版測量学(上), コロナ社, 文京区, p 219-231. (1993).

(原稿受理：1995年5月8日)