

## 二機の静止衛星を用いた通信・測位実験計画の概要

森川 栄久\*<sup>1</sup> 丸山 誠二\*<sup>1</sup> 川又 文男\*<sup>1</sup>  
 大森 慎吾\*<sup>1</sup> 松本 泰\*<sup>2</sup> 近藤喜美夫\*<sup>2</sup>  
 (平成元年11月20日受理)

### HYBRID SYSTEM OF COMMUNICATION AND RADIO DETERMINATION USING TWO GEOSTATIONARY SATELLITES

By

Eihisa MORIKAWA, Seiji MARUYAMA, Fumio KAWAMATA,  
 Shingo OHMORI, Yasushi MATSUMOTO, and Kimio KONDO

Mobile satellite services are classified into two categories, that is, communications and radio determination. The former, which is represented by such as INMARSAT, has complete different system and uses different frequencies from the latter, which is respected by such as GPS. These two different services have been studied, developed and implemented independently. In recent years, however, a new service which provide both services in a system has studied and developed.

Communications Research Laboratory is developing a new hybrid system which can provide both communications and positioning services in a system. Using this system, both functions of communications and radio determination can be obtained with two geostationary satellites. This paper describes the outline of the system.

#### 1. ま え が き

衛星を用いた移動体(車両, 船舶, 航空機等)へのサービスは, データ, メッセージ, 音声等の通信サービスと移動体の位置を決定する測位サービス(RDSS: RADIO DETERMINATION SATELLITE SERVICE)に大別される。従来, これらの二つのサービスは, それぞれ別々のシステムで行われて来た。最近, 新しい移動体衛星システムとして通信と測位の両機能を一つのシステムで提供するものが, 各国で研究開発されるようになって来ている。GEOSTAR<sup>(1)</sup>などは, その代表的な例である。

当所においても, 昭和63年度より電波システム開発センター(RCR)と共同で二つの静止衛星を用いた通信・測位複合システムの開発と実験を進めている。

本システムでの測位は, 電波の伝搬遅延時間から移動体と衛星間の距離を求め, 移動体の位置を計算により決定する方式である。本実験では, 上記の様な測位とデー

タ, 音声等の通信を同時にできる装置を開発し, その実現できる測位性能と通信性能を把握し, 最適な通信・測位複合システムの検討を行う。本文では, 実験計画の概要について述べる。

#### 2. 通信・測位複合サービスの特徴

移動体と移動体の管理者との間, あるいは移動体相互の通信は, 移動体そのものあるいは移動体に搭乗する人や積載する物の管理に重要であり, 高度物流管理システム実現のために不可欠なものである。また, 空, 海, 陸上の交通が混雑する今日, 移動体の安全管理及び遭難・事故時の救難対策は重要な課題であり, 電波を用いたシステムの活用が期待されている。また, 個人による移動体通信の利用や移動体のナビゲーションの需要も増加しつつある。このような物流管理, 安全管理及びナビゲーション等においては, 通信機能と同時に測位ができることが重要となる。

通信・測位複合サービスでは, 移動体の位置決定, 移動体のモニター及びメッセージあるいは音声と同時に提供され, 次のような利用形態が考えられる。

\*<sup>1</sup> 鹿島宇宙通信センター 第二宇宙通信研究室

\*<sup>2</sup> 宇宙通信部 移動体通信研究室

## ① ナビゲーション

移動体自身が自己の位置を測定するとともに、目的地までの距離、所要時間、推奨行路等の案内を受ける。

## ② 交通管制

移動体がある特定域に入ると、交通管制システムに登録され自動測位される。また、管制官が、移動体の位置を監視し、交通管制に必要な情報を授受する。

## ③ 運行管理

移動体管理者が、自管理下の移動体の位置をモニターし、目的地の変更等の業務連絡を行うことにより業務の効率化をはかる。

## ④ 救難緊急通信

移動体が遭難あるいは事故に遭遇した場合、事故位置、事故状況等を移動体管理者あるいは関係機関に連絡する。

このような利用形態の場合に要求される通信性能と測位性能は、上記のような適用分野及び陸、海、空上のどこで利用するかで違ってくると言われている<sup>(2)</sup>。ある調査によると測位性能に関しては、ナビゲーション、交通管制及び救難緊急通信サービスでは、比較的高い精度を要求し、運行管理のサービスでは、比較的低い精度でもよいとしている。また、通信性能に関しては、陸上及び海上のサービスでは、データ通信で十分なサービスが多く、飛行機の交通管制及び運行管理では、音声通信の利用が重要であると報告している<sup>(2)</sup>。

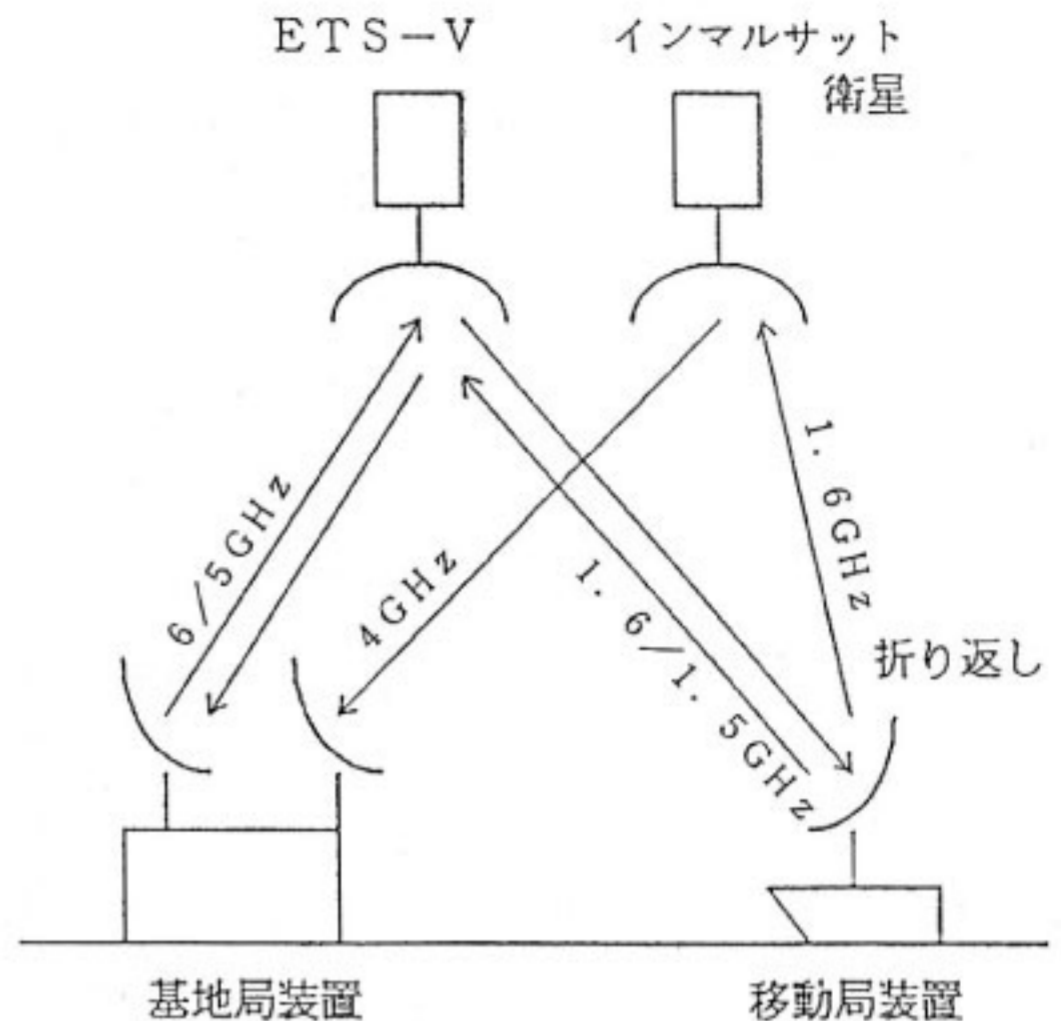
## 3. 実験システム

## 3.1 実験システムの構成

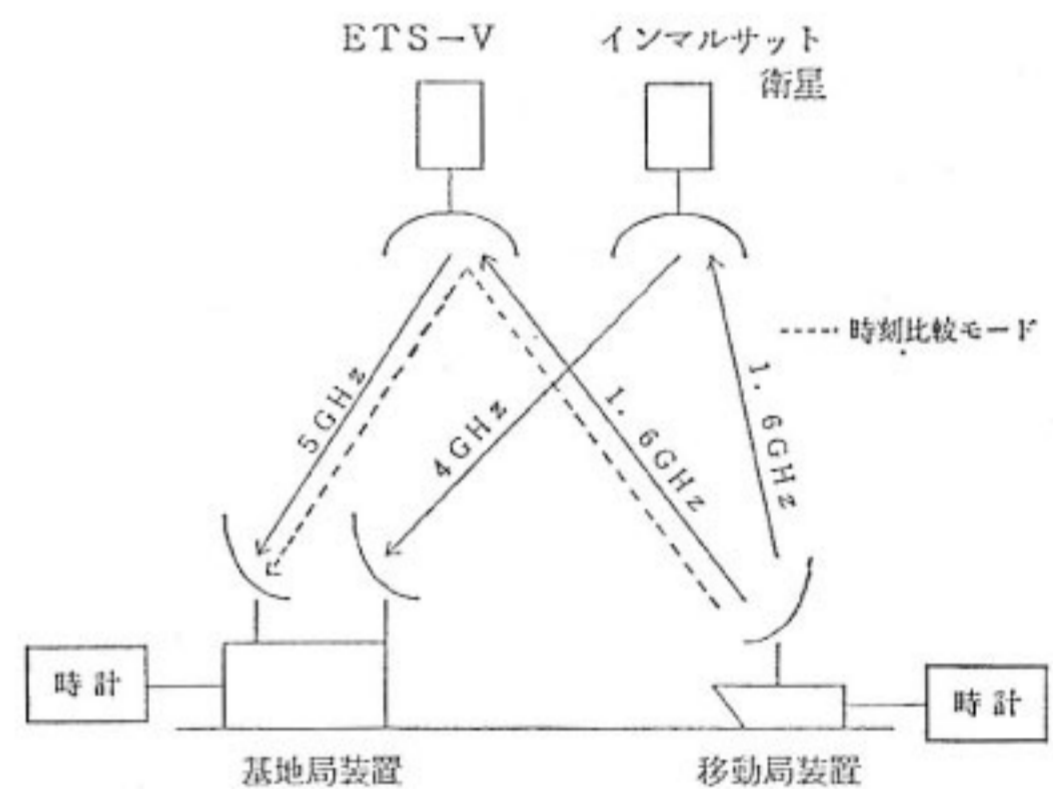
実験システムは、基地局と移動局及び二機の静止衛星で構成される。使用する二機の静止衛星は、東経 150° に位置する ETS-V と東経 180° に位置するインテルサットの太平洋衛星 (POR; PACIFIC OCEAN REACTION) である。POR には、インマルサットが所有する中継器 (MCS-D; MARITIME COMMUNICATION SUBSYSTEM) が搭載されており、これを使用する。また、システム構成は、以下に述べるように双方向測距及び片方向測距の二種類が考えられる。

## 3.1.1 双方向測距

双方向で測距を行う場合、基地局と移動局の間で時刻比較を行う必要はなく、測位は移動局あるいは基地局で行うことになる。基地局で測位を行う場合は、移動体の管理者が主体のシステムとなり、移動体の管理、運用の効率化ができる。移動局で測位を行う場合は、移動体が主体のシステムとなり、ナビゲーション等に適したシステムであると言える。



第1図 双方向測距の場合の実験構成



第2図 片方向測距の場合の実験構成

第1図は、双方向測距で基地局で測位を行う場合の構成を示す。基地局より測距信号を ETS-V の C/L 回線 (この表記は、上り回線では C バンドの周波数を使用し、下り回線では L バンドの周波数を使用することを意味する) を経由して移動局に送信し、移動局側では、信号を中間周波数帯またはベースバンド帯で折返し、それぞれ二機の静止衛星経由の L/C 回線で基地局に送り返す。基地局では、自局の送信タイミングと両衛星を経由して受信された信号の受信タイミングとの時間差をそれぞれ測定する。この時間差と既知の衛星の位置及び基地局の位置から移動体と衛星間の距離がパーソナルコンピュータにより計算される。

## 3.1.2 片方向測距

片方向測距の場合は、測距を行う前に基地局と移動局の間で時刻比較を行う必要がある。しかし、測位を行う局から行わない局の回線は、すべて通信用の回線として

利用できる。基地局で測位を行う場合は、双方向測距と同様に管理者主体のシステムとなる。また、移動局で測位を行う場合は、片方の静止衛星経由の基地局から移動局への送信は、測距信号一波分を放送モードで送信すればよい。一つの静止衛星の回線は多元接続にする必要はない。そのため、中継器の占有率を少なくすることができる。第2図に片方向測距で基地局で測位を行う場合の構成を示す。基地局と移動局は、測距の前に片方の静止衛星を用いて基地局の高安定な時計で時刻比較を行う。これにより基地局と移動局との時刻のオフセットを測定する。次に移動局は、自局の時計に同期したタイミングで測距信号をそれぞれ二機の静止衛星経由で移動局に送信する。基地局では、これらの受信タイミングを自局の時刻基準により測定する。基地局では、このデータと時刻比較データから移動局と衛星間の距離をもとめ、これと衛星位置データから自局の位置を計算する。基地局で測位を行う場合と移動局で測位を行う場合とで、原理的に得られる性能は同じである。そのため、実際の実験では、基地局で測位を行う場合を実験する。

3.2 実験用通信・測距複合装置

通信・測距複合システム用の実験装置として以下の二つの方式について開発を行った。

a) SCPC の一つの通信チャンネルを測距用のチャンネルと利用する方式

b) スペクトル拡散された電力密度の低い通信・測距信号を重畳する方式

以下、a)を SCPC 方式、b)を SS 方式と呼ぶことにする。SCPC 方式の場合、現在実用化されている SCPC 方式の衛星システムに簡単な装置を付加するだけで測位サービスを受けられる利点を持つが、測距信号の周波数を高くできないため測距精度が落ちる。一方、SS 方式は、比較的測距信号の周波数を高くできるため、測距精度を高めることができるが、時間差測定の際の不確定性の除去を必要とすることと拡散変調部を必要とする点で装置構成が複雑となる。本実験では、上記のような特徴を持つ二種類についてそれぞれ実験を行い、その比較検討を行う。

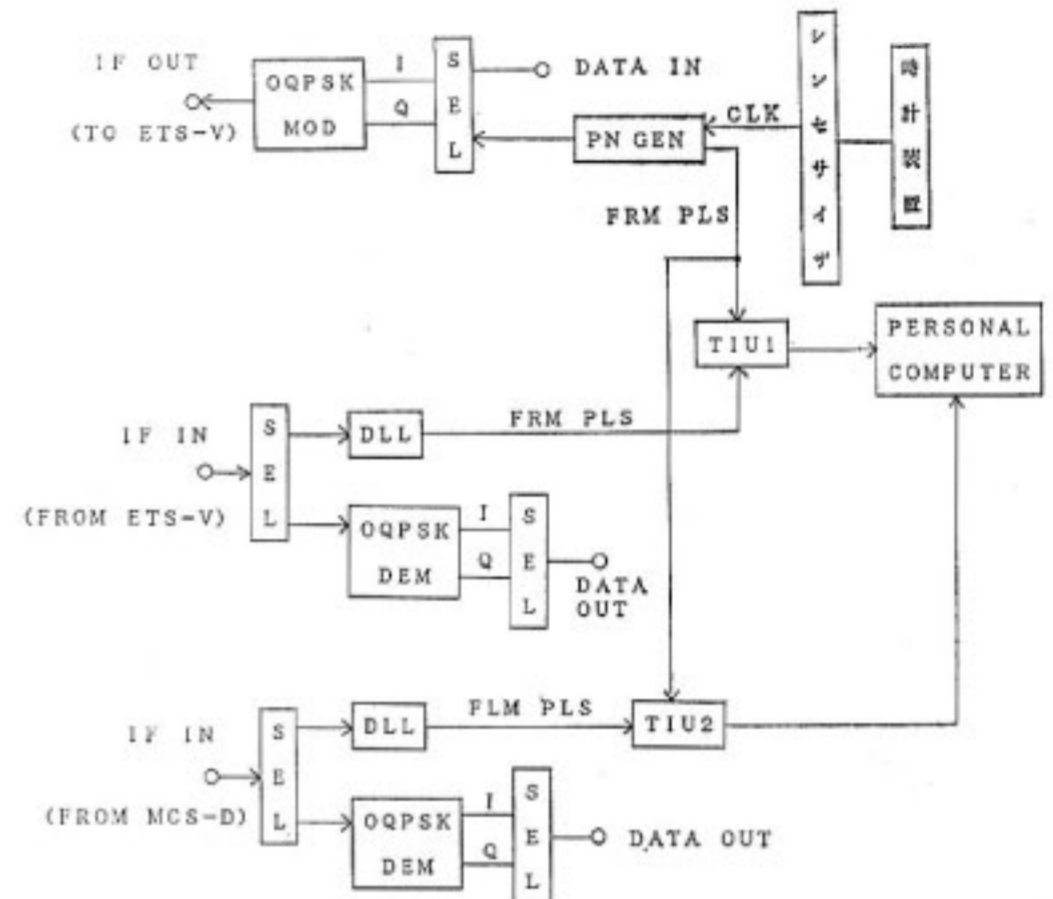
各方式とも、デジタル変復調方式を用いており、同一の変復調器で通信と測位を行う。また、測距信号として M 系列 PN (疑似ランダム) 符号を使用するコード方式の測距機能を持つ<sup>(3)</sup>。第1表に、測距信号の諸元を示す。

3.2.1 SCPC 方式

第3図に、SCPC 方式の基地局の IF 以下のブロック図を示す。基地局は、二機の静止衛星からの信号を同時に受信するため受信系を2系統持っている。移動局の構

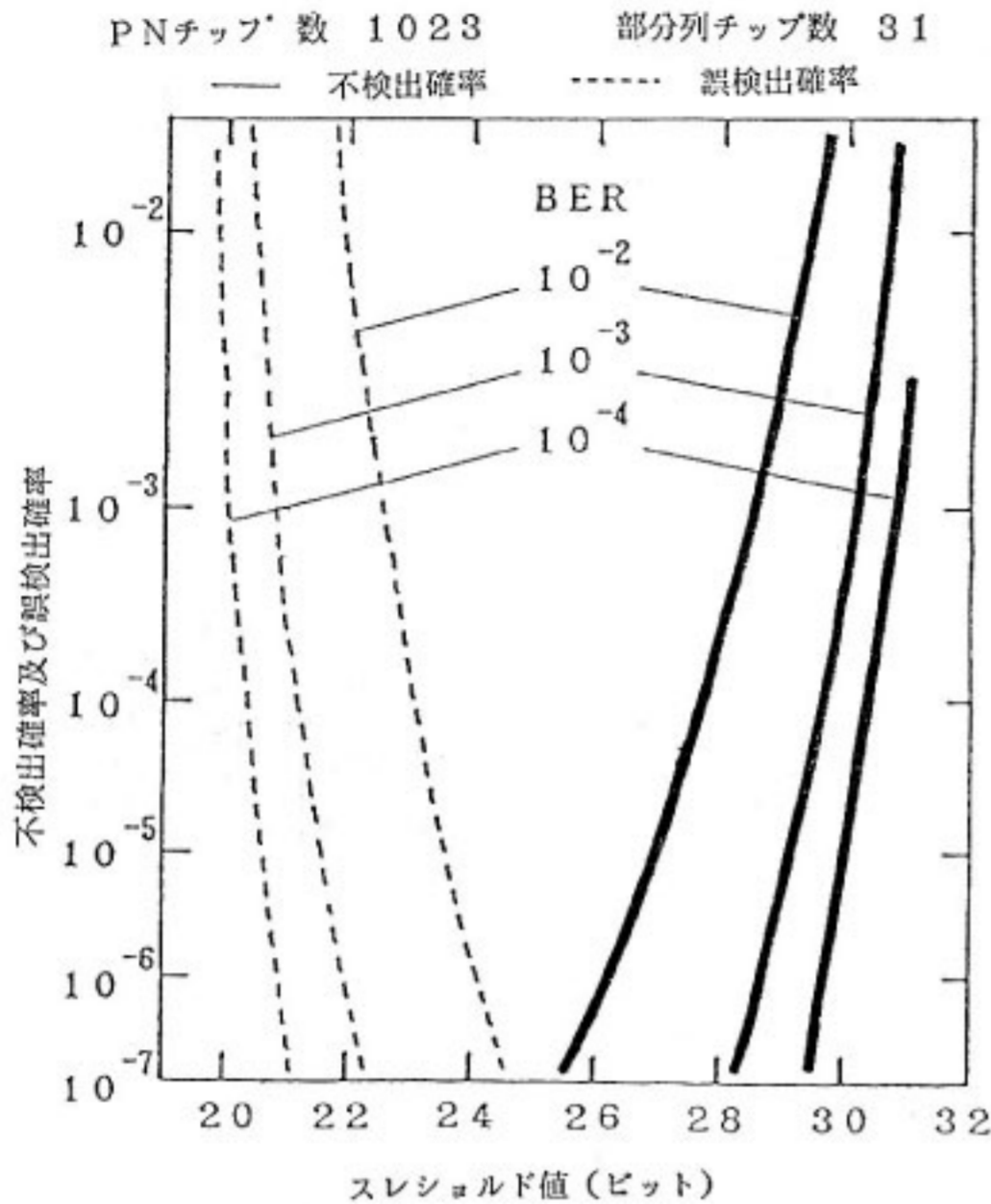
第1表 変復調方式及び測距信号の諸元

	SCPC	SS
変復調方式	24 kbps OQPSK	5 kbps BPSK
PN 符号 シンボルレート	12 kbps	桁決 5 kbps 拡散 1.275 Mbps
PN 符号長	1000 chips, 83.33 ms	桁決 500 chips, 100 ms 拡散 255 chips, 0.2 ms

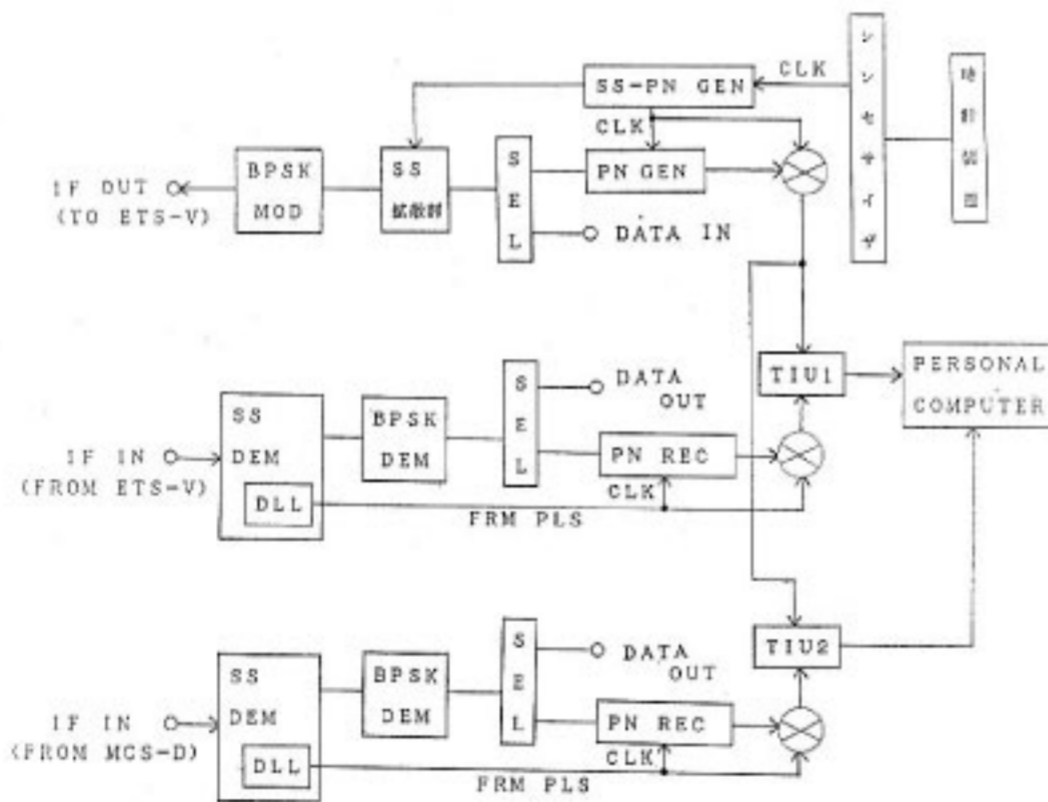


第3図 基地局の通信・測距端局の構成 (SCPC 方式)

成は、受信系の数と中間周波数帯及びベースバンドの折返し機能を持っている点を除いてほぼ基地局と同じである。この場合、測距信号として1023チップ PN 符号のうち1000チップを用いる。変復調方式は、24 kbps のオフセット QPSK である。I, Q チャンネルの内 Q チャンネルを測距用のチャンネル、I チャンネルをデータ通信用のチャンネルとして使用する。従って、測距中に I チャンネルを使って 12 kbps のデータ通信が行うことができる。受信された信号の同期は、遅延ロックループ (DELAY LOCK LOOP; DLL) により保持される。この DLL は、その初期引き込みでデジタル相関器によるマッチドパルスデテクタ (Matched Pulse Detector; MPD)<sup>(4)</sup>を用いている。これにより、受信 PN 符号の初期捕捉を高速に行うことができる。また、このときの相関検出は、MPD の相関器の長さを短くしてハードウェアの構成を簡単にするために、受信信号と受信側で用意された 31チップの部分列とで行っている。このとき、相関検出は、スレシヨルド判定をしているため、部分列を使用したことによる相関値の不検出 (相関値がスレシヨルドを下回り検出されるべきところで検出されない場合) 及び誤検出 (相関値がスレシヨルドを上回り検出されてはいけないところで検出される場合) が起る可能性がある。



第4図 部分相関を行った場合のマッチドパルスの不検出及び誤検出確率



第5図 基地局の通信・測位端局の構成 (SS方式)

第4図に、この場合の不検出確率及び誤検出確率の計算値を示す。この結果より、BER (BIT ERROR RATE)  $1 \times 10^{-2}$  の場合でも判定のスレシヨルドを適当に選べば、不検出確率及び誤検出確率を十分小さくすることができる。

時間差測定部 (TIU部) では、送信側のフレームパルスを計数スタート信号として、受信PN信号に同期してDLL内のPN発生器から発生するフレームパルスを計数ストップ信号としてカウンターによりその時間差を測定する。測定された時間差は、パーソナルコンピュータで処理され移動局の位置が算出される。

3.2.2 SS方式

SS方式の基地局のIF以下のブロック図を第5図に示す。基地局は、二機の静止衛星からの信号を同時に受信するため受信系を2系統持っている。移動局の構成は、受信系の数と中間周波数帯及びベースバンド折返し機能を持っている点を除いてはほぼ基地局と同じである。5 kbpsのベースバンド信号を周波数1.275 MHzのPN符号で拡散し、BPSKで変調して送信される。特に、移動局は、送信部の高電力増幅器として非線形性を有するC級の増幅器を用いているため、通常のBPSKであると、増幅後のスペクトラムの帯域が広がってしまう。それを避け、必要な帯域におさえるために定包絡線型のBPSK変調方式<sup>(5)</sup>を採用した。拡散用のPN符号は、255チップでフレーム長が0.2 msecのものを使用する。そのため、衛星を経由した伝搬遅延時間の方が拡散用PN符号のフレーム長より長くなり時間差測定の際に不確実性を生じる。これを防ぐために、ベースバンド信号として、不確実性を除去するためのフレーム長の長い桁決めPN符号を使用する。受信側で不確実性の除去が終了したら、この桁決めPN符号の代わりにデータや音声を送信することができる。受信側では、桁決めPN符号の送受信の時間差と拡散用PN符号の送受信の時間差をそれぞれ測定する。これらの測定された時間差は、パーソナルコンピュータにより処理され移動局の位置が算出される。

4. 測定精度の検討

4.1 測距精度

測距における誤差は、大気圏及び電離層の屈折等の電波伝搬路上の性質に由来するものと、装置の電気的特性によるものが考えられる。ここでは、電気的特性のみについて検討する。本システムの実験装置では、測距信号の追尾に用いられるDLLの入力雑音による位相ジッタにより大きく左右される。

SCPC方式は、同期型のDLLを用いており、SS方式は、非同期型のDLLを使用している。その位相ジッタの標準偏差と入力雑音の関係は、それぞれ次式で与えられる<sup>(6)</sup>。

$$\frac{\delta}{f_0} = \sqrt{\frac{B_L N_0}{2P}} \quad (\text{SCPC方式})$$

$$\frac{\delta}{f_0} = \sqrt{\frac{B_L N_0}{2P} \left(1 + 2 \frac{B N_0}{P}\right)} \quad (\text{SS方式})$$

- $\delta$  : 位相ジッタの標準偏差
- $f_0$  : 測距信号のクロック周波数
- $B_L$  : DLLの等価ループ雑音帯域幅
- $N_0$  : 雑音電力密度

第2表 回線設計の例

C/L 回線 (ETS-V)						
	SES 位置	N鹿島	N中心	N最悪 <sup>(1)</sup>	S中心	S最悪 <sup>(2)</sup>
up link	CES HPA out (dBm)	42.0	←	←	←	←
	EIRP (dBm)	93.2	←	←	←	←
	Propagation loss (dB)	199.6	←	←	←	←
	SAT G/T (dBK)	-8.1	←	←	←	←
	C/N <sub>0</sub> up link (dBHz)	84.1	←	←	←	←
down link	SAT EIRP (dBm)	59.7	61.1	55.7	61.0	55.7
	Propagation loss (dB)	187.7	187.8	188.5	187.4	188.0
	SES G/T <sup>(3)</sup> (dBK)	-15.2	←	-15.5	-15.2	←
	C/N <sub>0</sub> down link (dBHz)	55.4	56.7	50.3	57.0	51.1
C/N <sub>0</sub> Total (dBHz)		55.4	56.7	50.3	57.0	51.1
L/C 回線 (ETS-V)						
	SES 位置	N鹿島	N中心	N最悪 <sup>(1)</sup>	S中心	S最悪 <sup>(2)</sup>
up link	SES HPA out (dBm)	48.5	←	←	←	←
	EIRP <sup>(3)</sup> (dBm)	55.2	←	←	←	←
	Propagation loss (dB)	188.3	188.3	189.0	188.0	188.4
	SAT G/T (dBK)	-4.5	-2.8	-8.6	-3.9	-9.7
	C/N <sub>0</sub> up link (dBHz)	61.0	62.7	56.2	61.9	56.1
down link	SAT EIRP (dBm)	32.9	34.6	28.1	34.1	28.2
	Propagation loss (dB)	198.4	←	←	←	←
	CES G/T (dBK)	32.7	←	←	←	←
	C/N <sub>0</sub> down link (dBHz)	60.4	62.1	55.6	61.6	55.7
C/N <sub>0</sub> Total (dBHz)		57.1	59.4	52.9	58.7	52.9
L/C 回線 (MCS-D)						
	SES 位置	ビーム中心 <sup>(4)</sup>	鹿島	仰角10°		
up link	SES HPA out (dBm)	48.5	←	←		
	EIRP <sup>(3)</sup> (dBm)	55.2	←	←		
	Propation loss (dB)	188.0	188.3	189.1		
	SAT G/T (dBK)	-12.7	-14.3	-14.9		
	C/N <sub>0</sub> up link (dBHz)	53.1	51.2	49.8		
down link	SAT EIRP (dBm)	22.8	20.9	19.5		
	Propagation loss (dB)	197.0	←	←		
	CES G/T (dBK)	30.0	←	←		
	C/N <sub>0</sub> down link (dBHz)	54.4	52.5	51.1		
C/N <sub>0</sub> Total (dBHz)		50.7	48.8	47.4		

(1) (38°N, 143.8°W) (2) (17°S, 102.0°E) (4) (0°N, 180°E)

(3) SES Antenna 40 cm SBF

(2衛星の中間点を指向)

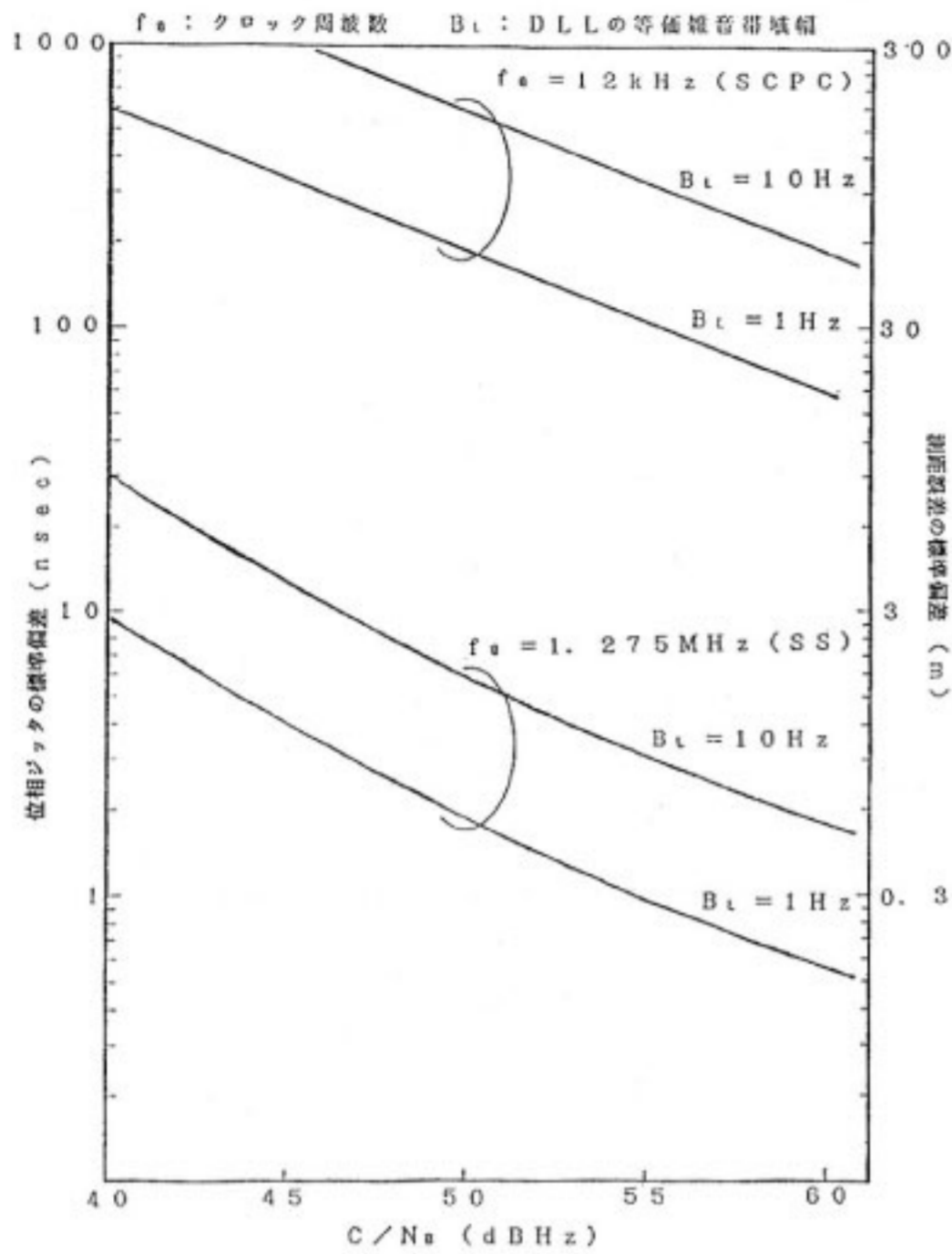
	Gain	Tracking loss	Polarization loss
Tx	15.2 dBi	4.0 dB	3.0 dB
Rx	14.7 dBi	3.6 dB	

P : 信号電力

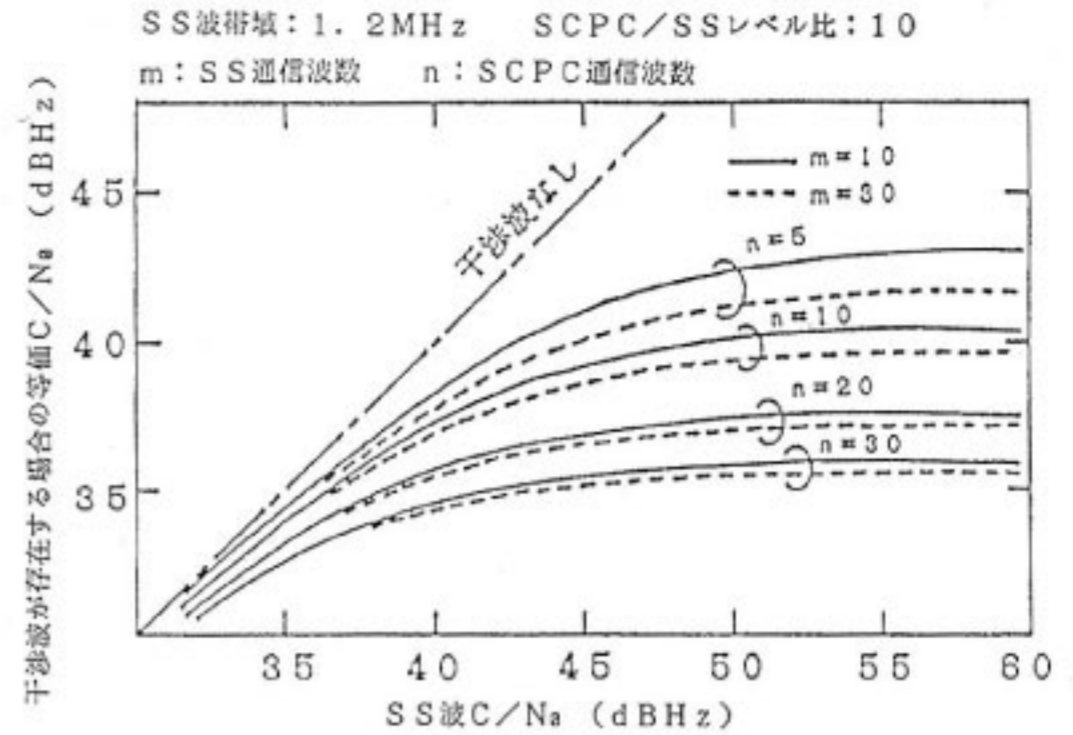
B : BPF の帯域幅

第6図は、その計算結果である。横軸は、DLLの入力点での C/N<sub>0</sub> (信号電力/雑音電力密度) である。縦

軸の右側の数値は、位相ジッタの標準偏差から求められた測距誤差の標準偏差である。第2表には、本実験の回線で予想される C/N<sub>0</sub> の値を ETS-V 経由の C/L 回線、L/C 回線及び MCS-D 経由の L/C 回線についてそれぞれ

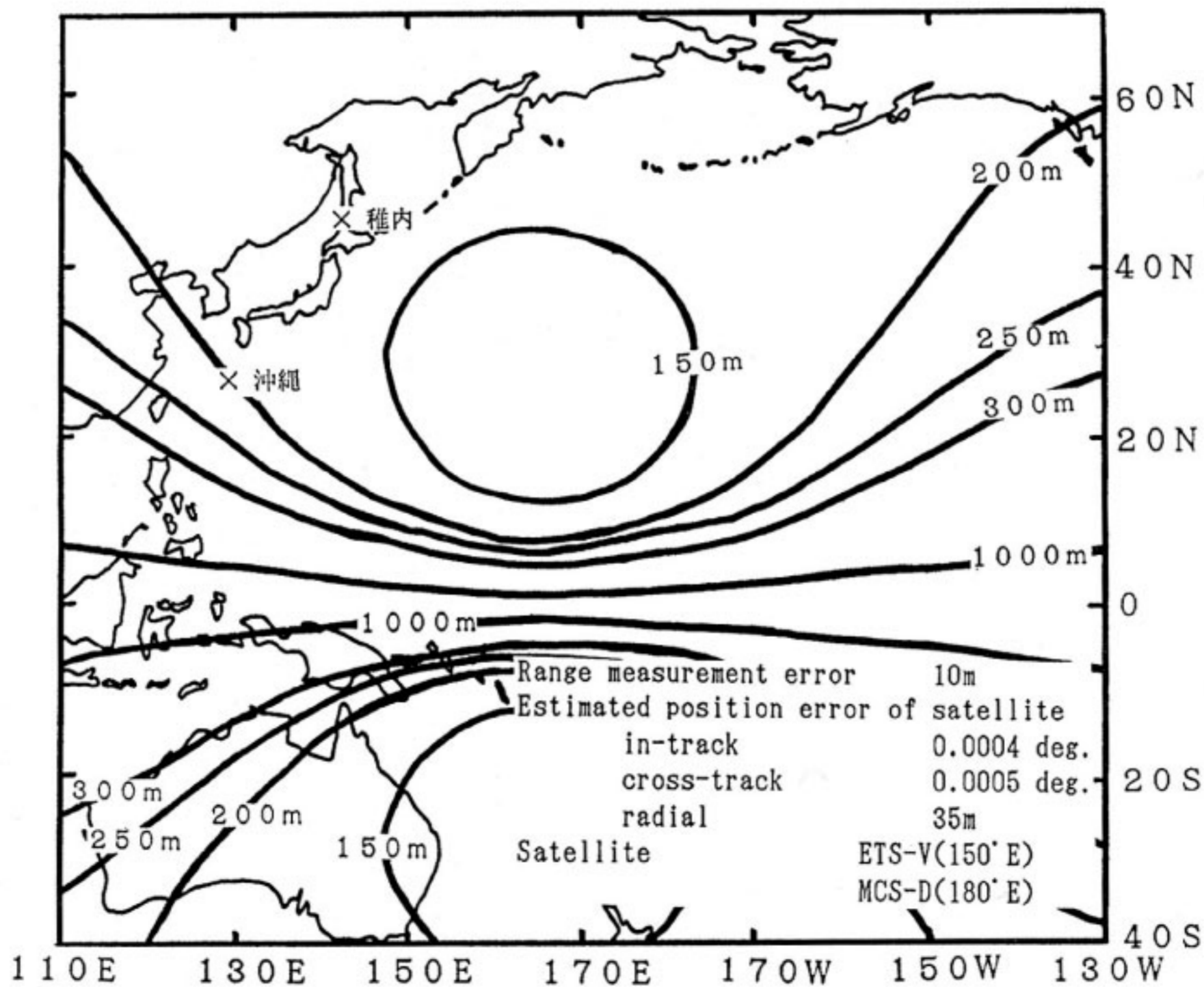


第6図 DLLの受信C/N<sub>0</sub>対位相誤差(測距精度)



第7図 SS方式において干渉波が存在する場合のC/N<sub>0</sub>の劣化<sup>(8)</sup>

れ計算した例を示す. ただし, この回線設計においては, 移動局のアンテナとしてETS-V/EMSS船舶実験<sup>(7)</sup>で用いられた直径40cmのショートバックファイアアンテナ(SBFアンテナ)を使用した場合を想定している. また, 実際に船舶実験を行う場合, アンテナ設置のスペースを十分確保できないため移動局のアンテナは, 一つでMCS-DとETS-Vを同時に追尾する. これを考慮して二つの衛星の midpoint を指向した場合を想定している. この時のアンテナ利得の低下分は, 移動局に用いて



第8図 測位誤差の評価例<sup>(9)</sup>

いる SFB アンテナのパターンから見積ると、送信で4.0 dB 低く、受信で 3.6 dB 低くなる。MCS-D の衛星の Lバンドの受信偏波は右旋であり、ETS-V のそれは左旋であるため、移動局は直線偏波で送信を行うことになる。それによる損失は、3.0 dB となる。この回線設計により予想される C/N<sub>0</sub> は、移動局の位置により異なるが、48~58 dBHz である。SCPC 方式の場合、B<sub>L</sub> が 1 Hz のとき、測距誤差は約 20 m~40 m が期待される。また、SS 方式の場合は、測距をしない通常の SCPC 方式の通信システムとの同時運用を想定している。そのときに SS 波の帯域内に落ち込む干渉波の影響を考慮した結果を第 7 図に示す。SCPC 波は SS 波の 10 倍のレベル、SCPC 波同志及び SS 波同志は等レベルの場合、得られる C/N<sub>0</sub> は、35~45 dBHz である<sup>(3)</sup>。その時得られる測距精度は数 m 程度であると考えられる。

4.2 測位精度

移動体の位置は、2.2 で説明した測距装置より得られた距離データと静止衛星の位置から、地球上での幾何学的位置を計算により求める。二つの静止衛星を用いた場合、移動体の位置は、それぞれ二つの静止衛星を中心とし、衛星と移動体間の距離を半径とした二つの球と地球との三つの球の交点として求められる。従って、測位精度は、測距データの精度と衛星の位置決定精度で左右されることになる<sup>(4)</sup>。

第 8 図に、MCS-D と ETS-V の間で計算された測位精度の結果の一例<sup>(5)</sup>を示す。ここでは、測距精度を 10 m とし、衛星の位置決定精度を経度方向で 0.0004°、緯度方向で 0.0005°、半径方向で 35 m として計算している。以上は、位置が高精度でわかっている基準局を用いない絶対測位における精度である。また、位置基準局を用い

てその基準局で生じた絶対誤差を移動体の位置推定により生じた誤差から差し引く相対測位<sup>(10)</sup>によりさらに良い精度が期待される。

5. ま と め

二つの静止衛星を用いた通信・測位実験計画の概要について述べた。第 3 表に、今後の予定を示す。平成元年度は、主に実験装置の開発、MCS-D 経由の回線の C バンド受信系の整備、測位ソフトウェアの開発等を行う。本格的な実験は、平成元年度末から平成 2 年度にかけて行う予定である。表中に示してあるように、実験は、Phase I 実験と Phase II 実験に分けている。Phase I 実験では、移動局を基地局と同じ位置に設置し、システムにおける遅延等の測定を行いその校正を行う。また、通信機能及び測距機能の基本特性を取得する。Phase II 実験では、位置が正確にわかっている地点に移動局を設置し、測位精度の評価を行う。また、最終段階では、船舶及び車両等に搭載して実験を行う予定である。

今まで、通信と測位を別々に扱ったシステムは、盛んに研究開発されてきたが、通信と測位を同時に行うシステムは、あまりない。本実験は、その基礎実験であり、その結果は、このようなシステムを実用化する際の技術的な資料となると考えられる。

謝 辞

有益な御助言と御協力頂いた手代木関東支所長に感謝致します。また、第二宇宙通信研究室員及び関係各位に感謝致します。

第 3 表 通信・測位システムの開発/実験スケジュール

平成元年度													平成 2 年度											
4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2	3	
コード方式測距装置の開発 →																								
Phase I ←												Phase II →												
基本特性の取得												陸上固定実験						船舶実験						
												陸上フィールド実験												
鹿島局受信系整備 →																								
測位ソフトウェアの開発 →																								

## 参 考 文 献

- (1) G. K. O'neil, Leslie O. Snively, "The Geostar position determination and digital message system Conf., 1983.
- (2) 通信・測位複合サービス調査研究会, "通信・測位複合サービス調査研究会報告書", 昭和63年3月.
- (3) 三浦 龍, 西垣孝則, 五井 朗, "ETS-V及びインマルサット衛星を用いた通信・測位実験のためのコード方式測距システム", 信学技報, SAT88-10, June 1989.
- (4) 浜本直和, "コヒーレントマッチドフィルタ方式スペクトル拡散通信装置の開発", 第69回電波研開発予稿, 11月, 1985年.
- (5) H. YAZDANI, "Constant Envelope Bandlimited BPSK Signal", IEEE Trans. Commun., Vol. COM-28, No. 6, pp. 889-897, June 1980.
- (6) W. Gilly "A Comparison of Binary Delay-Lock Tracking Implementations", IEEE Trans, Vol. AES-2, No. 4 1966.
- (7) 井家上哲史, 川又文男, 坂齋誠, 森川栄久, 能登治, 佐藤正樹, 近藤喜美夫, "移動体衛星通信実験(ETS-V/EMSS) 成果(2)船舶衛星通信実験", 第76回通信総研開発予稿, 5月, 1989年.
- (8) 西垣孝則, 笠井克幸, "2機の静止衛星を用いた測位実験計画", 昭和63年春季信学総全大, B-150.
- (9) 笠井克幸, "2機の静止衛星を用いた測位法における測位精度の基礎解析", 昭和62年信学総全大, 2262.
- (10) 笠井克幸, "2機の静止衛星を用いた測位法における測位精度の基礎解析(相対測位)", 昭和63年春季信学総全大, B-151.

