

# 郵便車両を対象とした衛星通信・測位システムと ETS-V 衛星による電波伝搬特性

磯部 俊吉\*<sup>1</sup> 松本 泰\*<sup>2</sup> 平良 真一\*<sup>3</sup>石井康三郎\*<sup>1</sup> 長澤 宏和\*<sup>1</sup>

(平成元年11月20日受理)

## MOBILE SATELLITE COMMUNICATIONS AND POSITIONING SYSTEM FOR MAIL DELIVERY TRUCKS AND PROPAGATION CHARACTERISTICS USING ETS-V

By

Synkichi ISOBE, Yasushi MATSUMOTO, Shinichi TAIRA,  
Kōzabrō ISHII, and Hirokazu NAGASAWA

A satellite communication and positioning system for mail delivery trucks is studied. The mobile station consists of a GPS terminal and a message communication terminal. An L-band antenna and a RF unit can be shared by the two terminals. A message with data on the position of each delivery truck is conveyed to a control center via TDM/TDMA satellite links. Propagation experiments using ETS-V were carried out along expressways to study antenna blockage effects on the link parameters. Results show that the system is free of blocking more than 90% of the time.

### 1. はじめに

郵政省郵政研究所は、情報通信、物流、金融・経済等の研究を行う郵政省のシンクタンクとして昭和63年6月に発足した。当所では、衛星通信の郵政事業への応用に関する研究の一環として、郵便車両の運行管理を目的とした通信・測位システムの検討を行っている。

衛星通信の広域性を活かした国内移動体衛星通信システムについては、諸外国で1990年代初頭の実用化を目指し、各国システム間の互換性等も含めた検討がなされている。日本においても、技術試験衛星V型(ETS-V)を用いた実験研究が郵政省、運輸省を中心として盛んに実施されている<sup>(1)</sup>。さらに、最近移動体に対する測位サービス(RDSS Radio Determination Satellite Service)も注目され、米国のジオスター・システム等測位サービスを含めた移動体衛星通信システムの構築が大き

な世界的動きとなっている<sup>(2)</sup>。

一方、現在、郵便輸送は本州内ではそのほとんどをトラックに依存している。また、到着郵便局ではトラックの到着時刻に合わせて人を配置しているため、業務の効率化を図るためには、郵便車両の位置を常に把握し、突発的な事故や交通渋滞に柔軟に対応できることが必要である。また、小包追跡サービスが開始されているように、将来、郵便物の追跡といったニーズが生じてくる。ところが、現在郵便車両は一部を除いて通信手段が全くなく、通信システムの早期確立が望まれている。そこで、郵便車両を対象とした、GPS(Global Positioning System; 全世界測位システム)による測位とメッセージ通信を組み合わせた簡易な衛星通信・測位システムについて検討を行った。

陸上移動体衛星通信システムを開発するためには、基本特性として伝搬特性を明らかにする必要があるが、ETS-Vを用いた実験の報告例は少ない<sup>(3)~(5)</sup>。これらによると特に都市部では、ビル、歩道橋、電柱等によるブロッキングが大きな問題になることは明らかである。

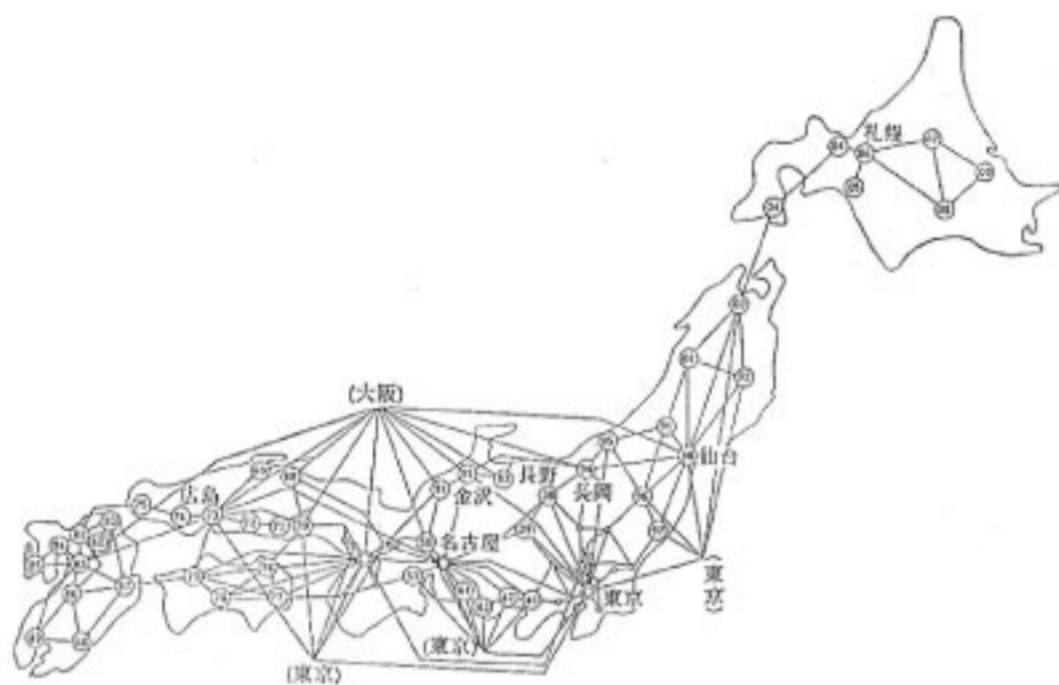
\*<sup>1</sup> 郵政研究所\*<sup>2</sup> 宇宙通信部 移動体通信研究室\*<sup>3</sup> 鹿島宇宙通信センター 第二宇宙通信研究室

そこで、高速道路を走る長距離便路線における衛星通信の適応可能性検討とシステム設計のためのデータ取得を目的として、東京-広島間等の高速道路上においてETS-Vを用いた伝搬実験を実施し、特に市街地、開放地における通信可能率という観点から解析を行った。ここでは、郵便車両通信・測位システムの概要とETS-Vによる伝搬実験結果について報告する。

## 2. 郵便車両通信・測位システム

### 2.1 郵便輸送における通信手段

現在、長距離の郵便輸送は第1図に示すような路線で広範囲にわたって行われており、1日約400便のトラックが走っている。車両には無線装置は装備されておらず、渋滞等によって遅れた場合の連絡については公衆電話に頼っているため、渋滞中を走行している場合などは適切な連絡・指示ができないのが現状である。そこで、運転者から直接運行管理者に交信できるシステムの構築



第1図 郵便輸送ネットワーク（地域区分局相互間）

が強く望まれている。東名・名神高速道路、中国自動車道を走行する便には、今秋からMCA無線の導入が計画されているが、山間部では安定したサービスの提供が困難であるといった問題点がある。したがって、路線区域全体で安定した通信を確保するためには衛星通信の適応が望ましい。

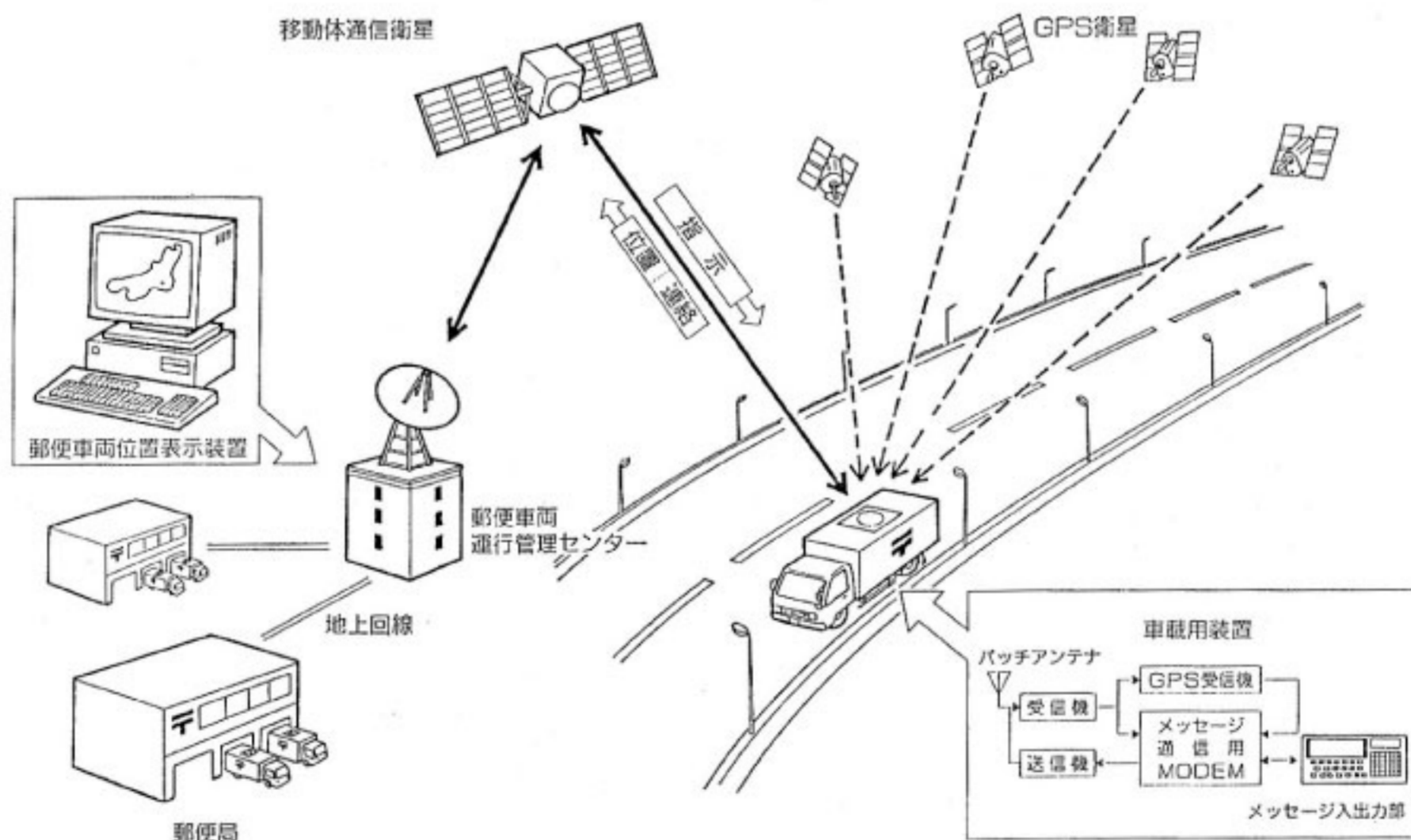
運行・管理システムに要求される条件として、次のようなものがある。

- (1) 車載装置はできるだけ簡易で、ユーザインターフェースのよいものであること。
- (2) 車両、運行管理センター及び到着郵便局間の連絡がなるべく人手を介さずスムーズにいくこと。
- (3) 車両の郵便局への到着予定時刻は常時把握されていること。

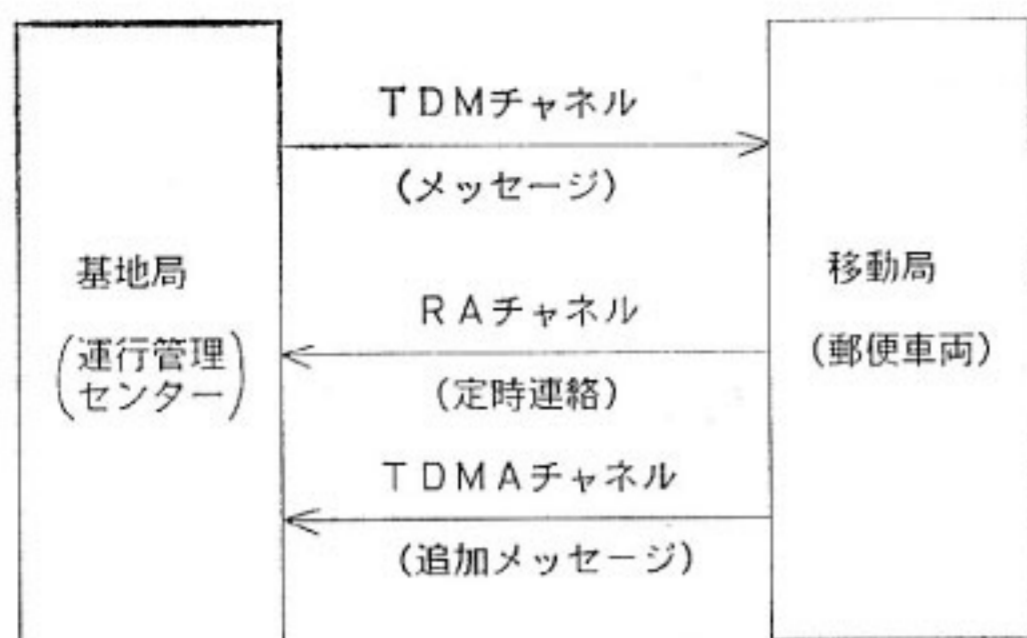
### 2.2 システムのイメージ

郵便車両を対象とした陸上移動体衛星通信・測位システムの概念図を第2図に示す。センターに対する車両位置等の連絡又は車両に対する指示のやりとりを行うことにより、車両の運行管理を行う。

郵便車両（移動局）側では、GPSによって測った位置情報及び連絡情報を運行管理センターへ通報する。連絡情報の伝達方法については、定形電文方式に見られるように、定形文に対応するコードの伝送（例：定形文「渋滞のため、到着が30分遅れる。」⇒連絡コード「030」）が考えられる。したがって、乗務員は1回ないし2回程度キーを押すのみで、所要の連絡内容を管理センターに送ることができる。また、センターからの指示情報は、車両上のプリンタに出力される。なお、郵便車両に搭載する機器は、運転席の前面パネルの横に取り付



第2図 郵便車両通信・測位システム



第3図 アクセス方式

可能な位コンパクトで、なるべく低価格、低消費電力なものとする。アンテナは送受別パッチアンテナで、車両荷物室の屋根に取り付ける。

運行管理センター（基地局）側では、車両位置をディスプレイの地図上に表示することにより位置を把握し、運行状態が正常であるかどうかを確認する。もし車両の到着が遅れるような場合は、地上公衆回線又は衛星回線を用いて到着郵便局へ連絡する。また、事故、渋滞等があらかじめわかっている時には、車両に対して迂回路等の指示を行う。

### 2.3 システムの検討

車両における測位方法としては、LORAN-C、GPS、2個の静止衛星による測距等が考えられるが、ここでは、使用周波数帯がLバンドで通信衛星用とアンテナの共用が可能なこと、簡易なシステムで実現できることから、GPSを用いることとした。したがって、使用周波数帯はLバンドである。

通信方法としては、情報量が少ないこと、音声通信に対して周波数利用効率が高いことなどから、将来有望なメッセージ通信を用いることとした。

#### (1) アクセス方式

アクセス方式としては、第3図に示すようにデータをパケットとして取り扱うTDM/TDMA方式を採用する<sup>(6)</sup>。リターンリンク（移動局→基地局）は、ランダムアクセス方式（スロットドアロハ）とTDMA方式の2つの周波数チャンネルをもち、それぞれRAチャンネル、TDMAチャンネルと呼ぶ。RAチャンネルでは、車両ID、位置情報、連絡コード（定形メッセージ）、追加メッセージの有無（TDMAチャンネルのアクセス要求）等が伝送される。TDMAチャンネルでは、追加メッセージ（到着郵便局、積荷状況、緊急連絡等）が伝送される。フォワードリンク（基地局→移動局）では、TDM方式でメッセージが伝送される。

基地局、移動局双方から発呼が可能であるが、基本的な運用モードでは移動局発呼である。しかも、ほとんど

第1表 システム諸元例

アクセス方式	TDM/TDMA 又はスロットドアロハ
変調方式	MSK 等
誤り訂正方式	符号化率 $\frac{1}{2}$ 畳み込み符号/ビタービ復号
情報伝送速度	1.2 kbps
回線伝送速度	2.4 kbps

第2表 回線設計例（フォワードリンク）

衛星→移動局 (f=1542 MHz)		
衛星	送信電力 (HPA <sub>out</sub> )	4.0 dBW
	出力回路損失	4.0 dB
	送信アンテナ利得	24.0 dBi
伝搬損失		188.0 dB
移動局	受信アンテナ利得	4.0 dBi
	受信回路損失	0.8 dB
	受信電力 (LNA <sub>in</sub> )	-160.8 dBW
	雑音電力密度	-205.0 dBW/Hz
所要 C/N <sub>0</sub>	44.2 dB·Hz	
所要 C/N <sub>0</sub>	38.0 dB·Hz	
マージン	6.2 dB	

第3表 回線設計例（リターンリンク）

移動局→衛星 (f=1644 MHz)		
移動局	送信電力 (HPA <sub>out</sub> )	5.0 dBW
	出力回路損失	0.9 dB
	送信アンテナ利得	4.0 dBi
伝搬損失		188.5 dB
衛星	受信アンテナ利得	24.0 dBi
	受信回路損失	3.0 dB
	受信電力 (LNA <sub>in</sub> )	-159.4 dBW
	雑音電力密度	-203.0 dBW/Hz
受信 C/N <sub>0</sub>	43.6 dB·Hz	
所要 C/N <sub>0</sub>	38.0 dB·Hz	
マージン	5.6 dB	

の場合 RA チャンネルのみで、つまり位置情報と連絡コードの伝送のみで通信は終了する。また、RA チャンネルは、通常自動送出モードとなっており、基地局から指定されたタイミングで30分に1回程度パケットデータを送信する。また、乗務員が連絡が必要と判断した場合あるいはトンネルに入っていた等で自動送出に失敗したこと

がわかった場合には、マニュアル送出モードで随時送信できる。

1メッセージを漢字50文字程度とすれば、局指定や制御コード等も含めて1パケット(フレーム)1000~1200 bit程度とする必要がある。TDMとTDMAチャンネルはガードタイムを含めて1フレーム1200 bitとする。RAチャンネルは、情報量から考えて1パケット(スロット)240 bit程度とする。

(2) システム諸元

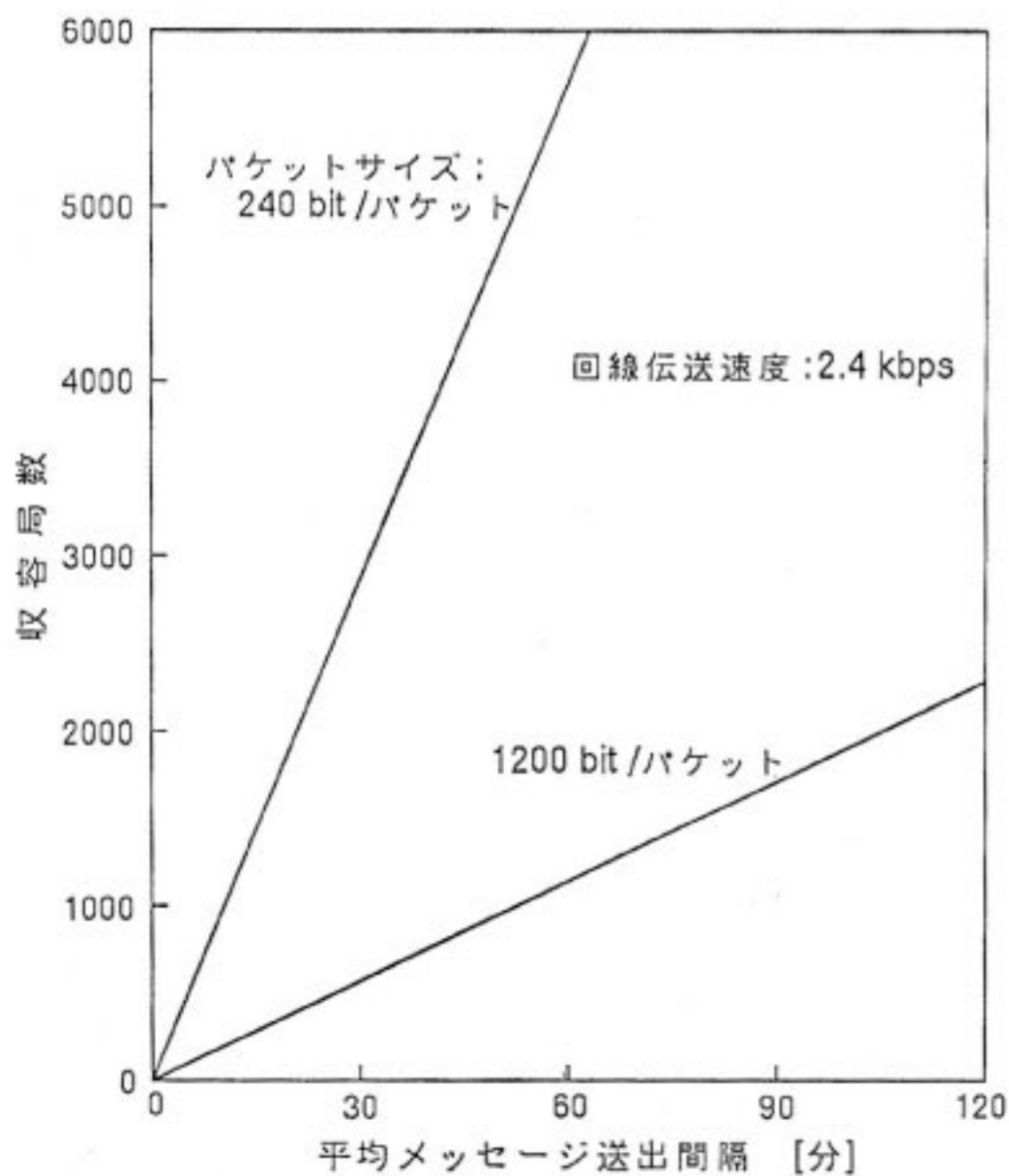
システム諸元の一例として第1表に示すものが考えられる。伝送速度は、1フレーム中のbit数、RAチャンネルの1フレーム中のスロット数、ガードタイム等を考慮して選択されるが、ここでは上記及び文献(6)における考察を参考に情報伝送速度を1.2 kbpsとする。符号化率1/2の畳み込み符号化、ビタービ復号の誤り訂正方式を用いれば、回線上の伝送速度は2.4 kbpsとなり、この場合フレーム長は1秒となる。ただし、伝送速度については、伝搬実験から得られるしきい値以上継続時間等から更に検討する必要がある。また、衛星・移動局間の回線設計例を第2、3表に示す。

(3) 収容局数

スロットドアロハを用いた場合、実行上衝突無しとみなせる状態で伝送するためにはスループットは13.6%、実行伝送容量は $0.16 \times R$  ( $R$  回線伝送速度)となるため、収容可能な移動局数  $n$  は、

$$n = (0.16 \times R / b) \times (T / \lambda)$$

となる<sup>(7)</sup>。ここで、 $(T/\lambda)$  [秒] は移動局の平均発呼間



第4図 収容局数

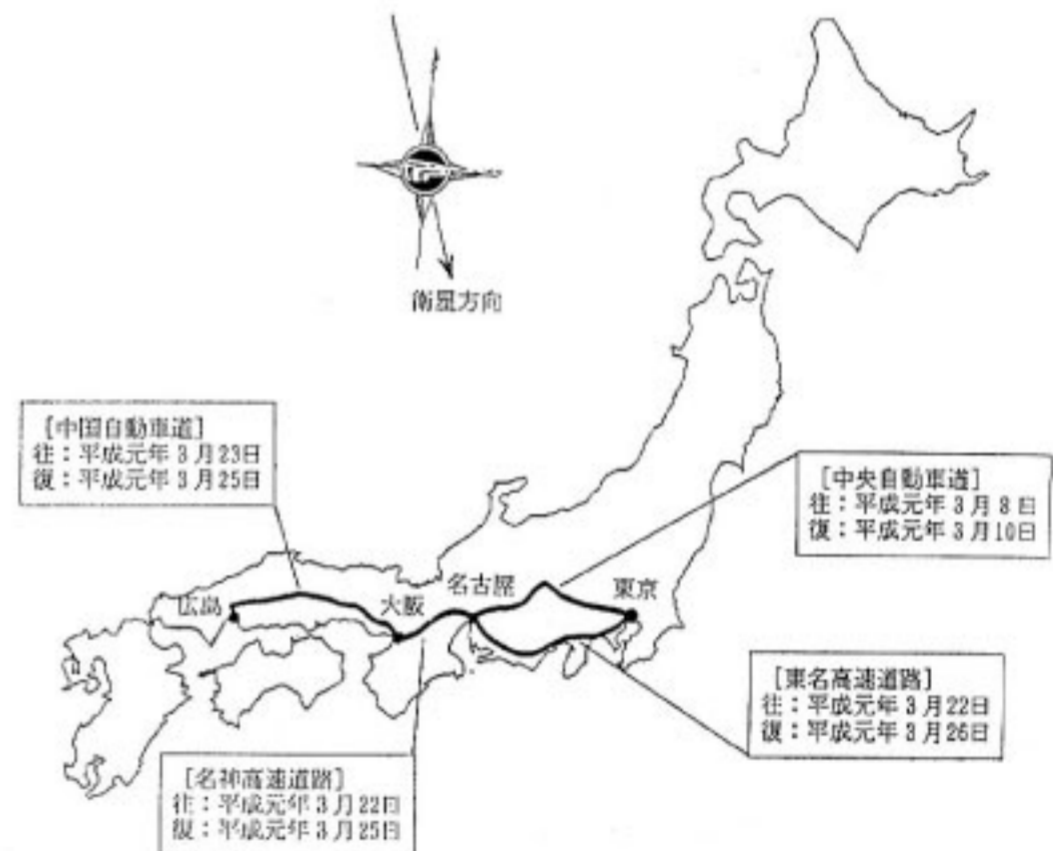
隔、 $b$  [bit/パケット] はパケットサイズである。第4図に回線伝送速度を2.4 kbpsとした場合の収容局数を示す。1局の平均メッセージ送出間隔を30分とすると、パケットサイズが240 bit/パケットの時、収容局数は約3000局となる。

3. 伝搬実験

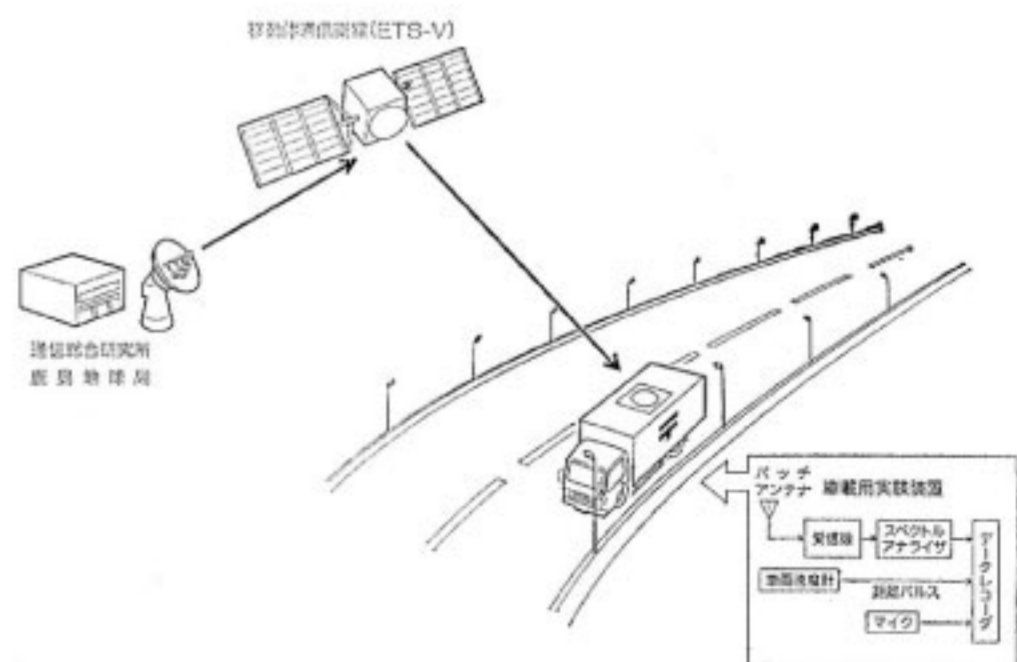
3.1 実験方法

アンテナを郵便車両の屋根に搭載し、高速道路を走行しながら、ETS-Vから送信される1500 MHz帯の左旋円偏波の無変調波を受信した。測定場所及び測定月日は第5図に示すように、東名、名神、中国、中央の各自動車道、首都高速道路等である。伝搬実験システム及び郵便車両に搭載した実験装置の構成を第6図に示す。

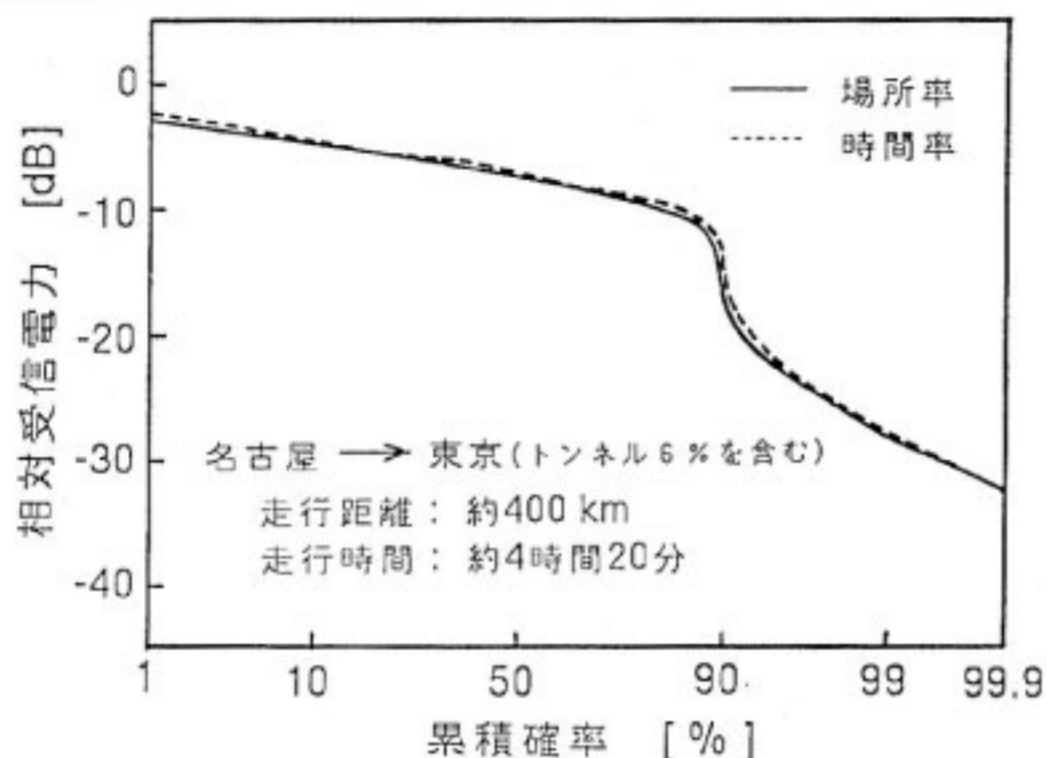
アンテナは、高次モードパッチアンテナで、ピーク利得は4 dBi、仰角45度に主放射方向をもち、水平面内は無指向性である。実験時の仰角は46~47度である。受信電力をスペアナで測定し、データレコーダに記録した。受信周波数は1542.95 MHz (3/8, 10) 及び1545 MHz (3/22~26)、スペアナの帯域幅はドップラシフトを考慮



第5図 実験走行路



第6図 伝搬実験システム



第7図 受信電力累積分布

し、300 Hz とした。測定ダイナミックレンジは約 35 dB である。データレコーダには、受信電力の他に、6.28 cm 毎の距離パルス、測定/校正中を表す測定ステータス信号、時刻を記録した。また、道路周辺の建物の状況等を把握するため、運転席から車両前方の風景をビデオカメラで録画した。

3.2 解析方法

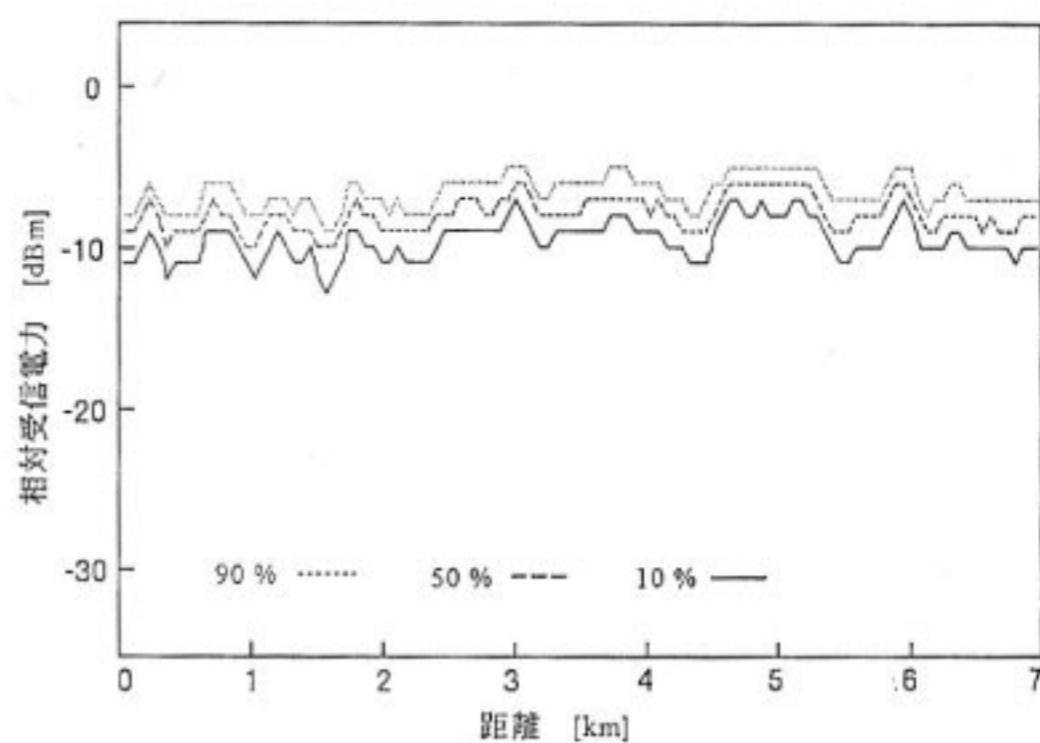
受信電力の生データはサンプル周波数 24 kHz で取得されたものであるが、ここでは、さらに距離パルス間隔の 6.28 cm 置きに等距離サンプルを行い、統計処理した。サンプルの仕方としては等時間サンプルも考えられるが、ここでは、車速に依存しない等距離サンプルとした。サンプルデータを 1 dB 毎にクラス分けして、累積分布(場所率)等を求めた。時間率については、5分間程度毎のデータの度数分布に平均時間間隔を重み付けして、推定値として求めた。

実験データの中から、特に市街地(ビル密集地)と開放地(シャドウイングのない地域)を抽出し、両者の伝搬特性を比較した。市街地としては、首都高速道路新宿 I.C. から高井戸 I.C. 手前までの約 7 km で、シャドウイングとなると思われるビルはその間に約 70 存在する。開放地としては、中央自動車道調布 I.C. と国立・府中 I.C. の間の約 7 km で、その間にビル、陸橋はほとんど存在しない。

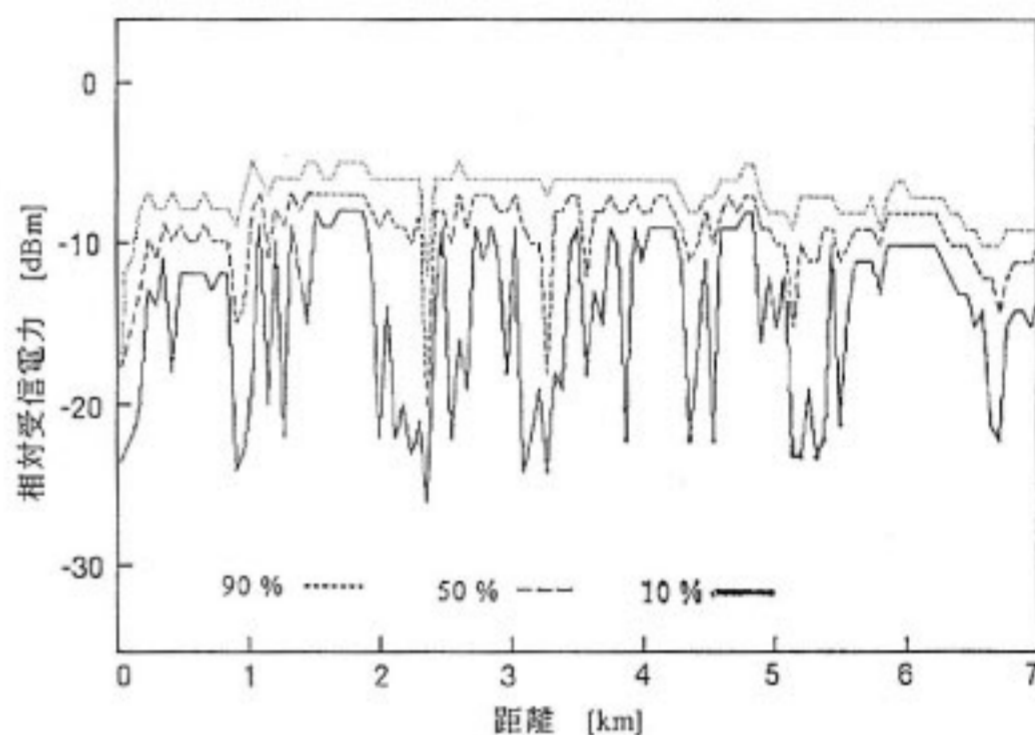
3.3 解析結果

(1) 全データを用いた累積分布

第7図に名古屋・東京間の累積分布を示す。相対受信電力 0 dB は移動局受信電力 -130 dBm に相当し、平均受信雑音レベルは相対受信電力約 -22 dB である。場所率と時間率(推定値)はほぼ一致している。累積分布 85% 付近で相対受信電力が -10 dB から -20 dB 以下に急激に低下している。相対受信電力が -10 dB 以上の領域は、ブロッキングの発生していない区間である



(a) 市街地



(b) 開放地

第8図 受信電力の90%, 50%, 10%値

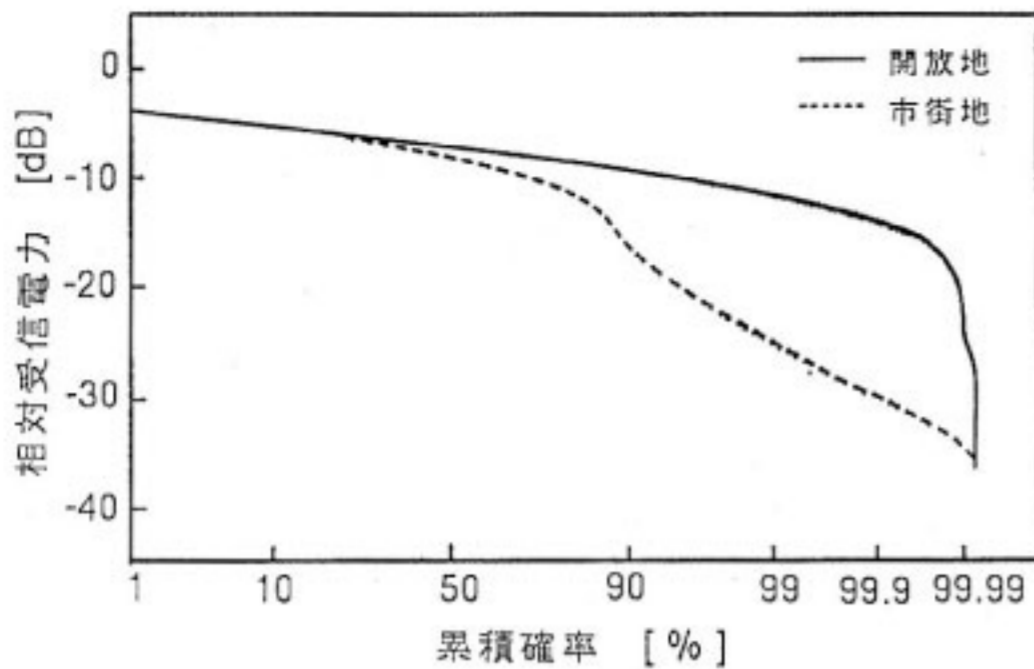
が、マルチパスフェージング等による数 dB 程度の変動がある。一方、残りの 15% の区間では相対受信電力が -20 dB 以下であり、ブロッキングの発生した区間に対応している。

以上の結果から郊外の高速度路上では、完全なブロッキング状態になるトンネル区間(全体の6%)を除けば約9%の区間でブロッキングの影響があることがわかった。

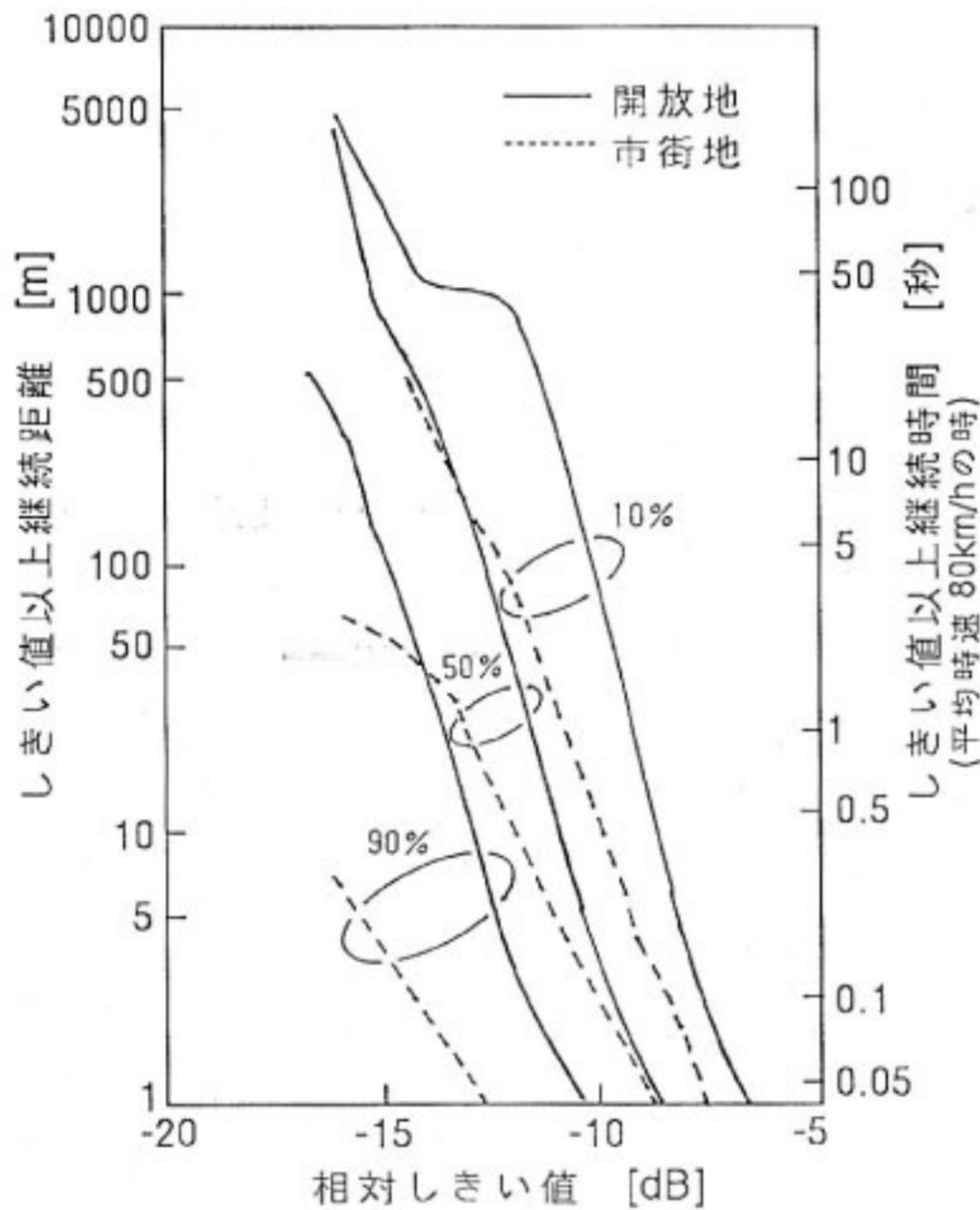
(2) 市街地と開放地の比較

受信電力の統計値の周囲環境による変化を明らかにするため、以下の様な処理を行った。距離一定(ここでは 62.8 m)の短区間毎の受信電力の累積分布を計算し、その90%, 50%, 10%に相当する相対受信電力を求めた。これを90%値, 50%値, 10%値と呼ぶことにする。

第8図に、市街地と開放地における短区間90%値, 50%値, 10%値の変化の様子を示す。開放地では受信電力は各短区間で変化が少なく、90%値と10%値の差が小さいのに対して、市街地ではビルによるブロッキングのため特に10%値が激しく落ち込んでいる様子が明らかである。



第9図 地域別受信電力累積分布



第10図 しきい値以上継続距離の累積分布

第9図に、両地における全体(約7km)にわたる累積分布(場所率)を示す。例えば、相対受信電力-10dB以上となる場所が開放地では98%であるのに対し、市街地では75%となる。

第10図に、両地におけるしきい値以上継続距離(受信電力があるしきい値以上を保つ区間の長さ)の累積分布を示す。右の縦軸目盛は平均時速80km/hで走行した時の平均継続時間である。例えば、相対しきい値を-13dBとすると、しきい値以上継続距離の90%値は市街地で約1.1m、すなわち、受信電力がこのしきい値を連続して上まわる区間の長さはその90%までが1.1m以上となる。一方、開放地では約7.5mとなる。また、例えば、相対しきい値-13dB以上平均継続時間1秒以上が得られる確率を求めると、まず第9図より、相対受信電力-13dB以上となる確率P1が求まり、次に第

10図より継続時間1秒以上になる確率P2を求めて、P1とP2の積で得る事ができる。この実験結果から求めると、市街地で約50%、開放地で約80%となる。

#### 4. まとめ

郵便車両を対象とした移動体衛星通信・測位システムについて基本的検討を行った。その結果、GPSによる測位とメッセージ通信を組み合わせた簡易なシステムが現状の技術で実現できることがわかった。また、郵便車両で高速道路を走行しながらETS-Vからの電波を受信する伝搬実験を行い、その結果、郵便車両の運行管理システムに衛星回線が適応できることが判明した。特に、伝送速度、フレーム長等のシステムパラメータの検討に資することができる市街地、開放地における平均通信可能時間等を明らかにした。今後、最適なシステムについて更に検討を深めるとともに、ETS-Vを用いた通信・測位実験を行う予定である。また、地上系システムとの比較、衛星系と地上系のハイブリッドシステムの検討も行う必要がある。

#### 謝 辞

本研究を進めるにあたり議論に加わって頂いた郵政研究所及び通信総合研究所の関係の方々、日頃ご指導頂く加藤次長、和田技術開発研究室長に感謝します。また、実験装置の開発に御協力頂いた東洋通信機機の方々、実験に御協力頂いた日本郵便通送機の方々感謝します。

#### 参 考 文 献

- (1) 移動体衛星通信国際フォーラム予稿, (財)国際衛星通信協会 (1989年5月)
- (2) 下世古, 塩見, “移動体衛星測位システムの動向と高機能移動体衛星構想”, 信学技報 SANE88-16 (1988年8月)
- (3) 浜本, 長谷他, “陸上移動体衛星通信における都市内伝搬特性例”, 1989年信学会春季全国大会 B-247 (1989年3月)
- (4) 柳光, 猿渡, “ETS-V/EMSSによる衛星-陸上移動体間伝搬特性 —主要高速道路上における電界強度の統計的性質—”, 第322回電波研連F分科会 (1989年3月)
- (5) 吉川, 楮原, “ETS-VEMSS 移動体衛星伝搬特性”, 信学技報 SAT89-21 (1989年8月)
- (6) 長谷, “実用化を意識した衛星系メッセージ通信システムの構想”, 信学技報 SAT88-8 (1988年6月)
- (7) 更田, 正村, “衛星通信サービスの新しい可能性”, 信学会誌 Vol. 72 No.1 pp. 63-72 (1989年1月)