

ETS-V/EMSS 移動体衛星通信実験

近藤喜美夫*¹ 大森 慎吾*²

(平成元年11月20日受理)

ETS-V/EMSS MOBILE SATELLITE COMMUNICATION EXPERIMENTS

By

Kimio KONDO, Shingo OHMORI

With the launch of ETS-V in August 1987, the Experimental Mobile Satellite System (EMSS) was realized. Several types of mobile satellite communication experiments have been performed with this system using the aircraft, ship and land mobiles.

The training ship of Hokkaido university with a 40 cm JSBF antenna was used in the ship experiments.

Aircraft experiments were conducted using JAL Boeing 747 Cargo aircraft with a 16 element phased array antenna.

The ACSSB, QPSK or spread spectrum modems were employed as the land mobile terminals. The experiments with a train and a portable message communicator were also performed. Moreover, CRL began international co-operative experiments in land mobile satellite communications with AUSSAT.

Here, the experimental system, the results and future plans of ETS-V mobile communication experiments are reviewed.

1. はじめに

技術試験衛星V型(ETS-V)は昭和62年8月27日宇宙開発事業団(NASDA)種子島宇宙センターより打ち上げられ本衛星を用いた移動体通信実験がCRLをはじめとする各機関により実施されている。

移動体通信に関して、郵政省では昭和50年頃から実験用海事衛星構想として検討を進めてきたが、昭和53年には運輸省からの航空衛星、科学技術庁からN-IIのロケット対応350kg級スピン型静止衛星バスの開発要望と共にAMES計画⁽¹⁾として統合された。その後、衛星需要の変化等を考慮して郵政省、運輸省、科学技術庁間で調整が行われた後、H-Iロケット打ち上げによる550kg級三軸型静止衛星の開発に方針が変更、計画の見直しが行われた後、昭和57年技術試験衛星V型(ETS-V)計画として宇宙開発委員会により開発移行の決定がなされ、昭和58年より本格的な開発を開始した。また、この間移動体通信実験についても陸上、海上、航空の移

動体に対する通信、測位等のための総合的な実験計画として見直しがなされた。

衛星は移動体通信実験用の中継器を搭載して昭和62年8月27日H-Iロケット3段式初号機によりNASDA種子島宇宙センターより打ち上げられた。郵政省通信総合研究所(CRL)は、運輸省電子航法研究所(ENRI)と共に同年10月よりわが国初の本格的な移動体通信実験を開始し、現在に至っている^{(2)~(5)}。なお郵政省に設置されたETS-V/EMSS実験協議会のもとで昭和60年より平成元年までの間日本電信電話会社(NTT)及び国際電信電話会社(KDD)も実験に参加した。

これら実験は現在主に短波帯に依存している洋上の小型船舶や航空機の通信と、さらに最近関心が高まってきた陸上移動体に対する衛星通信を行うための各種基盤技術を確立することを目的としている。

実験は、航空機、船舶、陸上移動を含み、陸上移動局としては自動車、列車を用いているほか、携帯型メッセージ通信機も含み、伝搬、通信に関する各種データが取得されている。なお最近ではETS-V利用実験も開始され、応用的な側面も加えた新たな展開が期待されている。

*¹ 宇宙通信部 移動体通信研究室

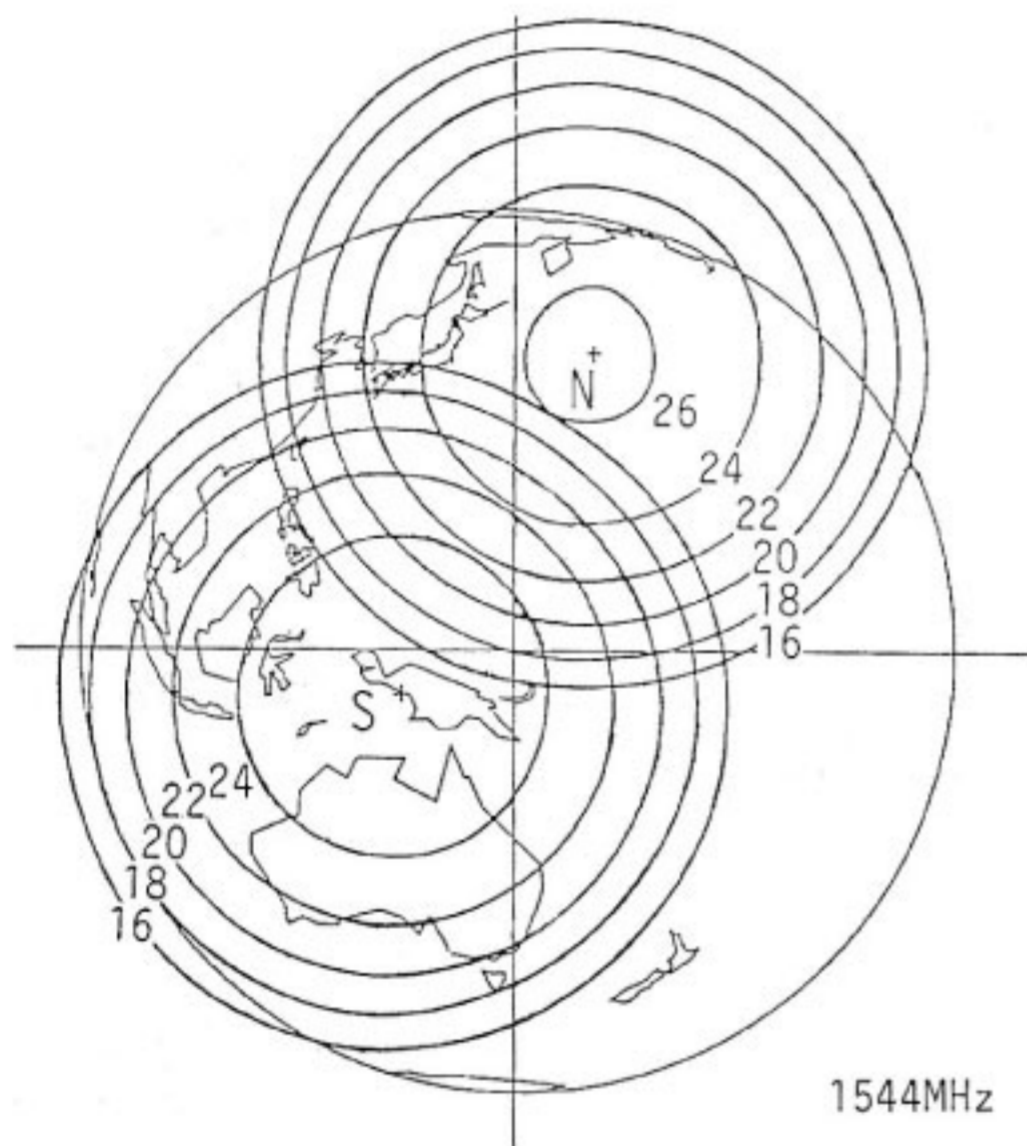
*² 鹿島宇宙通信センター 第二宇宙通信研究室

る。以下ではこのような CRL の実験状況を述べる。

2. ETS-V/AMEX

ETS-V はわが国初の 550 kg 級の静止三軸衛星であり昭和62年8月 H-I ロケットにより打ち上げられ、東経 150° に静止化された。

ETS-V 搭載の移動体通信実験用の中継器は移動体通信実験機器 (AMEX: Aeronautical Maritime Experimental Transponder) と呼ばれ CRL, ENRI, NASDA が共同で開発を行った。AMEX は移動体向けは L バンドを、フィードリンクに C バンドを使用し、第 1 図のように (37°N, 161°E), (5°S, 137°E) をビームセンターとする南北 2 ビームからなる国産衛星として初のマルチビーム構成になっている。また L バンドの高電力増幅器 (HPA) には 25 W の A 級 GaAsFET を使用し EIRP 35 dBW を得ている。



第 1 図 AMEX L-バンドアンテナカバレッジ

IF 系は表面弾性波 (SAW) フィルタを用いたフィルタ群からなり、周波数選択により C/L, L/C, C/C, L/L 回線が構成可能である⁽⁶⁾。

AMEX の主要諸元を第 1 表に示す。

3. 実験システム

CRL は船舶、航空機、陸上移動局を使用している。陸上移動局には車載局による実験のほか列車を用いた受信実験も行った。さらに携帯型メッセージ通信機による実験も行っている。

第 1 表 AMEX 特性

	Lバンド		Cバンド
	(Nビーム)	(Sビーム)	
アンテナ 開口径 (mφ)	オフセットパラボラ 1.5		ホーン 0.22
利得*			
送信 (dBi)	25.4	25.0	19.5
受信 (dBi)	26.2	25.7	21.6
給電損失 (dB)	1.2	1.1	0.6
軸比 (dB)	1.8	2.5	2.8
LNA NF (dB)	1.7	1.6	2.1
G/T* (dB/K)	-3	-4	-8
HPA 出力 (dBW)	13.7	14.5	8.5
EIRP* (dBW)	35.5	35.0	25.0
中継器利得** (dB)	C/L: 123 (0, +5, +10) L/C: 123 (0, +5, -5) L/L: 139.5 (0, +5, -5) C/C: 106.5 (0, +5, +10)		

*ビーム中心 **ダイプレクサ間の利得

ETS-V衛星はSバンドを用いて NASDA により追跡管制が行われるが、AMEX の運用に関しては CRL 鹿島局からの Cバンド TTC による運用を行っている。

移動局との間での実験に必要な通信信号等は CRL 鹿島局で送受される。なお ENRI 及び KDD の基地局側端局装置は CRL 鹿島局に設置された。また NTT は野比局を信号の送受に使用した。

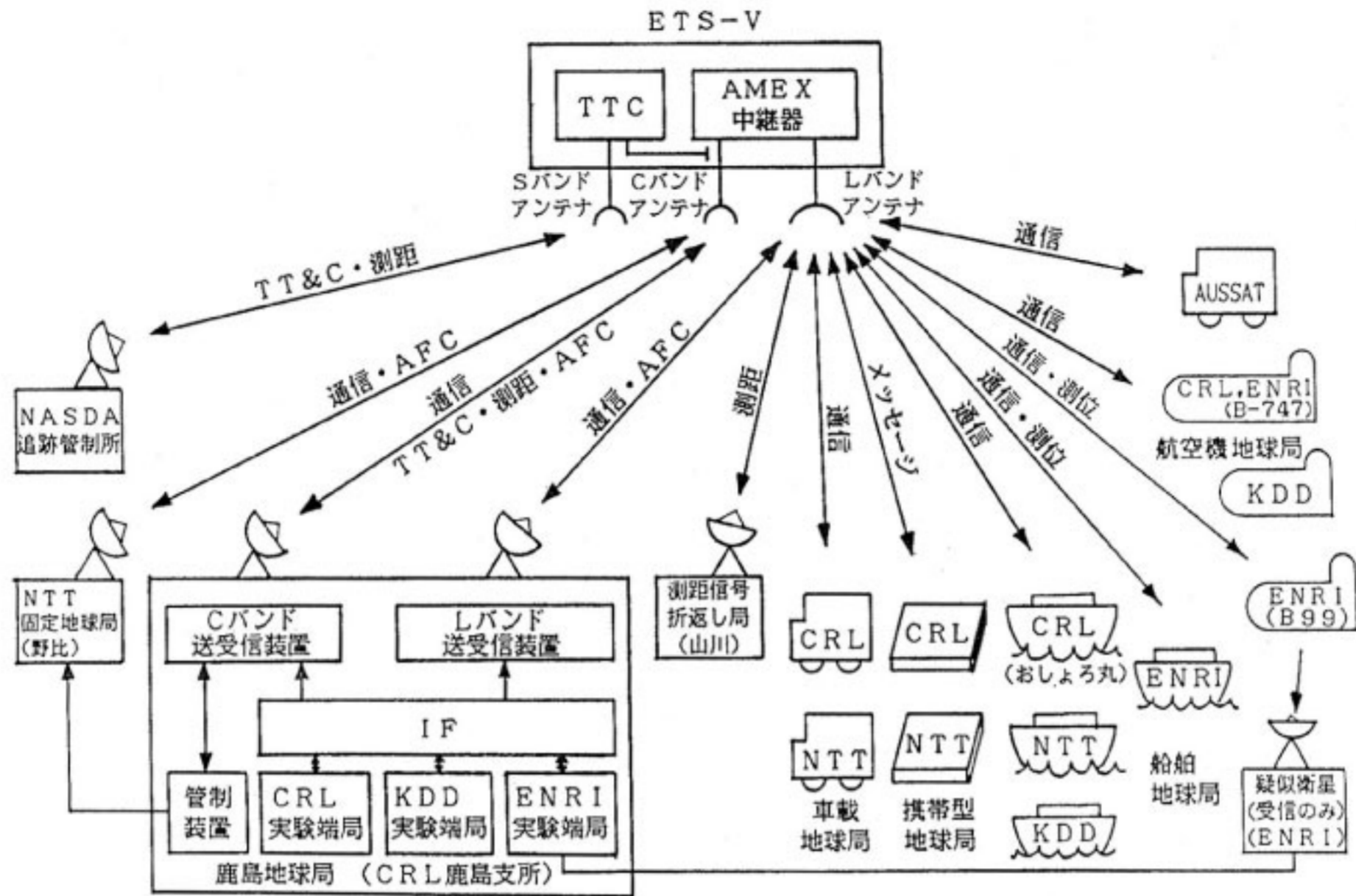
ETS-V を用いた移動体通信実験の全体システムの概念図を第 2 図に示す。

4. 船舶実験

第 1 回、及び第 3 回の船舶実験を昭和62年及び昭和63年の10月より函館～シンガポールあるいはミクロネシア方面至る南航路で、また第 2 回及び第 4 回の実験を昭和63年及び平成元年6月より函館～アラスカに至る北航路で行った。船舶として北海道大学水産学部の漁業練習船「おしよる丸」(約1400 t) を使用して伝搬、及び通信実験を実施している。

アンテナはプログラム追尾の 40 cmφ のショートバックファイアアンテナ (利得約 15 dBi) を用い、フェージング軽減回路を備えている。第 2 表に船舶局の諸元を示す。

伝搬実験では船上構造物によるブロッキングの影響、海面反射波によるマルチパスフェージングの影響についてデータを取得した。またフェージング軽減回路⁽⁶⁾により 6 度以下の領域で数 dB のフェージング軽減の効果があることを確認した (第 3 図参照)。アンテナ駆動部の追尾特性を確認した。⁽⁷⁾



第2図 ETS-V/EMSS 実験システム概念図

通信実験では狭帯域 FM 及び MSK (Minimum Shift Keying) による 16 kbps の音声通話実験, 4.8 kbps BPSK 及び FM によるデータ及び FAX 伝送実験を行った. また 160 kbps での TDM/TDMA の実験⁽⁶⁾を行いアクィジション特性, データ伝送実験等各種データの取得を行った.

音声符号化方式としては CADM (復号適応デルタ変調), CVSD (連続可変傾斜デルタ変調), MPC (マルチパルス線形予測符号化) を使用し MSK で変調し, 評価実験を行った結果, CADM が聴感上優れていることがわかった⁽⁷⁾.

5. 航空機実験

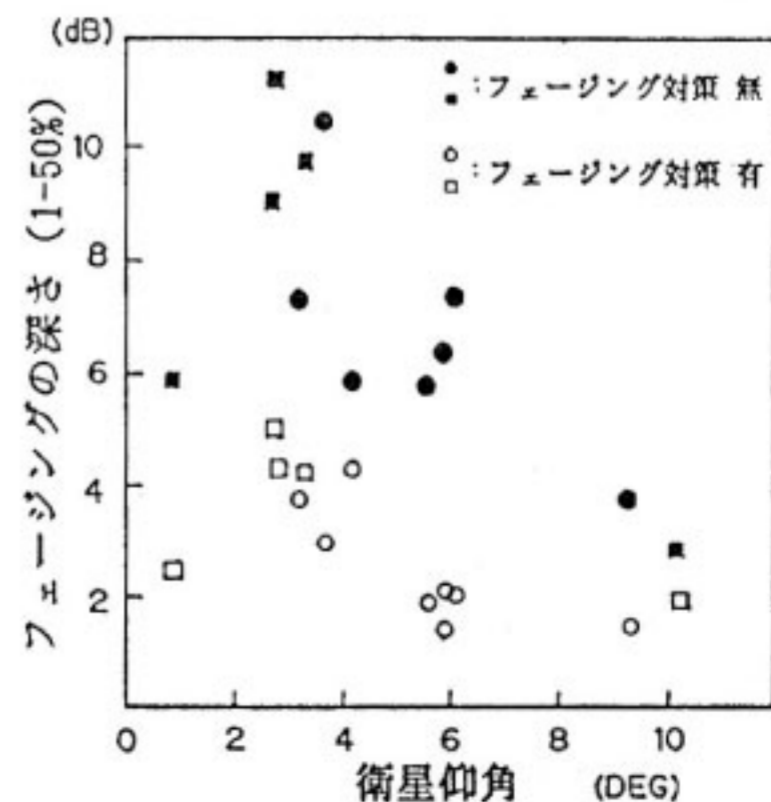
航空機実験は昭和62年11月より64年3月までに主として成田~アンカレッジ間の飛行ルートで計24回のフライトにより行った.

航空機は, 日本航空 (JAL) の協力を得て同社ボーイング747 F 貨物機を使用した. アンテナは利得 15 dBi の16素子のフェーズドアレイアンテナを開発, 機体上部に搭載した. 第3表に航空機局の諸元を示す.

搭載アンテナに関して機上でのアンテナパターン等各種特性評価が行われたほか, 伝搬特性データが取得された. 得られたデータでは, 主翼方向が衛星方向と一致し

第2表 船舶局諸元

アンテナ	改良型 40 cm ショートバックファイア 利得 15 dBi (プログラム追尾)
HPA	70W C級
EIRP	最大 32 dBW
G/T	-8.5 dB/K
変調方式	SCPC • 24 kbps, 16 kbps MSK (音声, データ) • 4.8 kbps BPSK (データ, FAX) • NBFM (音声) TDMA • 160 kbps BPSK (24 kbps音声×5ch+4.8k bpsデータ×4ch) 音声符号化: CADM, CVSD, MPC



第3図 船舶実験のフェージングと軽減装置の効果

た時 3~5 dB のフェージングが生じるが、ほとんどの場合 1 dB 以下のレベル変動で安定な通信が可能であった。第 4 図にフェージングの方向依存性を示す⁽¹⁰⁾。

TDM/TDMA の実験を行っていないが通信実験の内容は船舶とはほぼ同様で、良好で高品質の音声、FAX、データ伝送を確認した。また、実験ではこのほか、受信周波数偏差、復調データの誤りパターン等も同時に取得した。

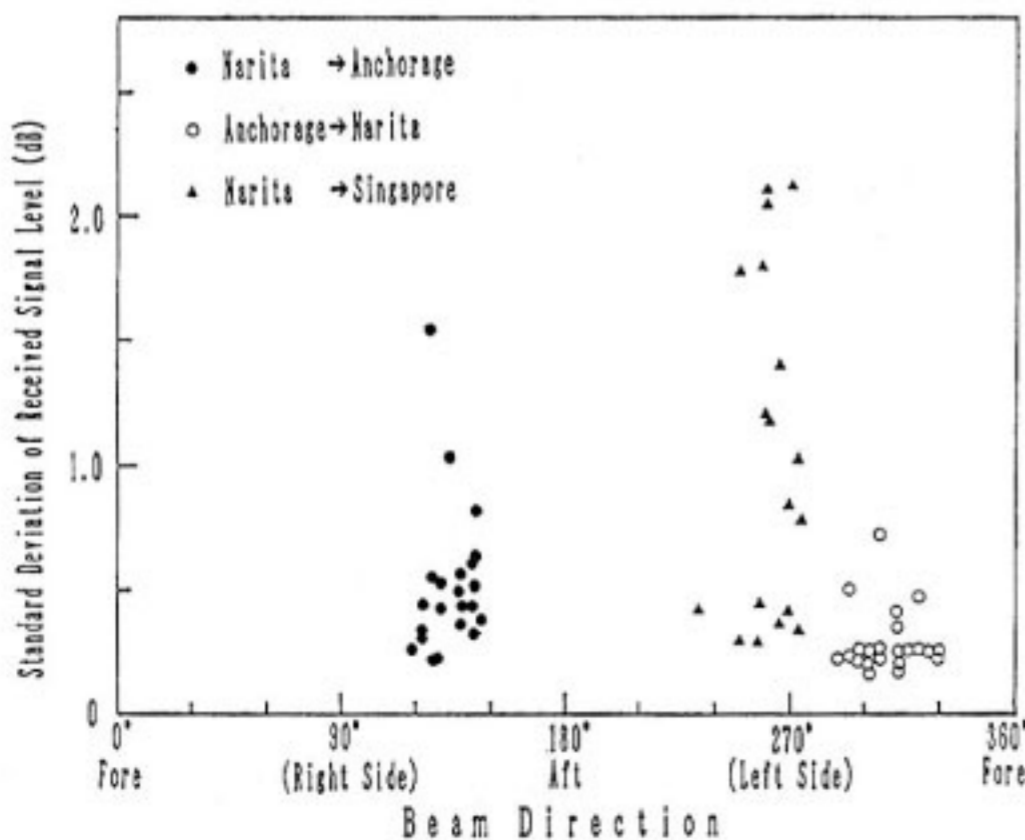
なおこの実験に使用したフェーズドアレイアンテナの技術は「B-747」旅客機を用い KDD, JAL と共同でインマルサット太平洋衛星を用いて行った⁽¹¹⁾インマルサット航空機実験用のアンテナ開発に応用された。

6. 陸上移動実験

現在までの所、都市部、郊外における伝搬特性の基本的なデータ取得を進めるのと並行して、ACSSB (Amplitude Companded SSB) 方式車載局、4.8 k~9.6 kbps の MPC (マルチパルスコーディング) 音声による QPSK 方式車載局について、通信実験、特性評価を行っている。更に 2.4 kbps の SS 方式車載局も加えて各種実験が予定されている。各車載局装置の諸元をそれ

第 3 表 航空機局諸元

アンテナ	2×8 素子フェーズドアレイアンテナ
利得	12 dBi (送信), 14 dBi (受信)
重量	18 kg
G/T	-11.5 dB/K
EIRP	29 dBW
HPA	100 W
変調方式	MSK, BPSK, NBFM 音声符号化: CADM, CVSD



第 4 図 航空機実験のフェージングの方向依存性

ぞれ第 4, 5, 6 表に示す。

伝搬実験では、マルチパスフェージングに加えて 10 dB 以上の大きなブロッキングが主に都市部で観測され、一方郊外ではほとんど 2~3 dB 程度の軽微なフェージングデータが取得されている⁽¹²⁾⁽¹³⁾。第 5 図に伝搬特性例を示す。

通信実験では各種条件での誤り率特性あるいは S/N 特性、また音声の品質データを取得している。

ACSSB の実験では静止時及び移動時の S/N 特性が C/N₀ を変数として求められた。実用的な限界としては C/N₀=48 dBHz が得られた⁽¹⁴⁾。QPSK 方式車載局⁽¹⁵⁾

第 4 表 ACSSB 車載局諸元

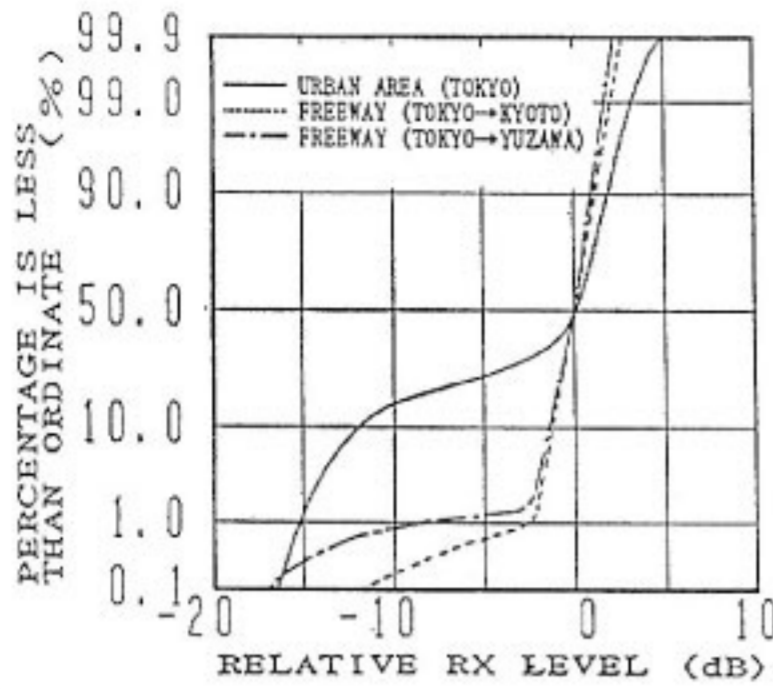
アンテナ	送受分離マイクロストリップ (4 dBi) または 4 線巻ヘリカル (4 dBi)
送信出力	20 W
変調方式	ACSSB, 上側波帯 (パイロット信号付加: 3 kHz)
音声周波数帯域幅	300~2500 Hz
音声圧縮伸張比	1:1, 2:1
チャンネル間隔	5 kHz
周波数安定度	5×10 ⁻⁷
電源電圧	+12 VDC
重量	約 10 kg

第 5 表 QPSK 車載局諸元

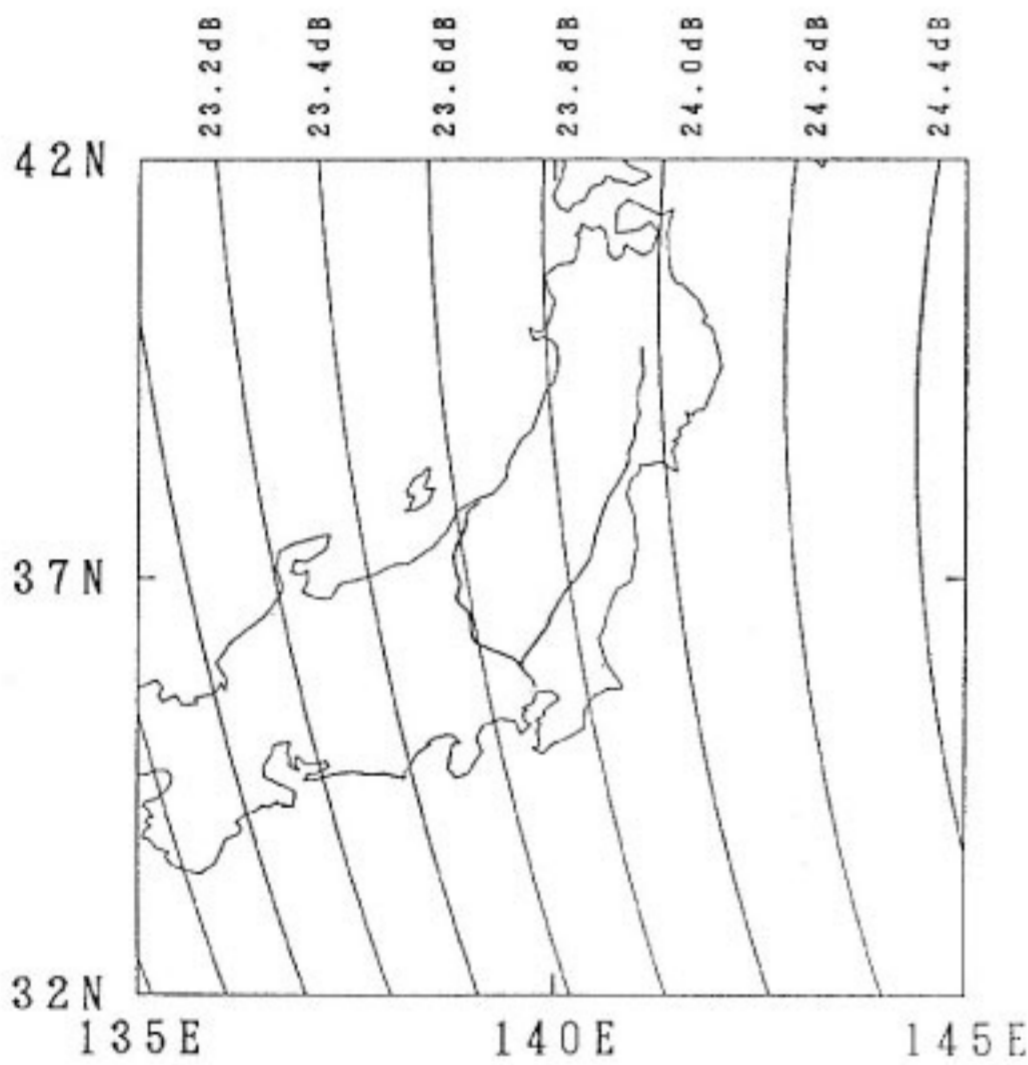
アンテナ	ヘリカル (3 dBi) アレイアンテナ (15 dBi)
送信機出力	25 W
音声符号化	MPC
伝送速度	4.8, 8, 9.6 kbps
変調方式	QPSK, 同期検波
FEC	畳み込み符号 (R=1/2, K=4) 3 ビット軟判定, ビタービ復号
チャンネル間隔	10 kHz
電源電圧	+12 VDC
重量	約 10 kg

第 6 表 SS 車載局諸元

アンテナ	送受独立高次モード マイクロストリップアンテナ (6 dBi)
送信機出力	直線 20 W
受信機 NF	1.2 dB
音声符号化	LPC
伝送速度	2.4 kbps
	PN レート: 2.4552 MHz
変復調方式	BPSK-SS コヒーレントマッチドフィルタ復調方式



第5図 陸上移動実験での伝搬特性例



第6図 新幹線実験区間

第7表 メッセージ通信機諸元

アンテナ	送受分離パッチアンテナ (送信 7.5 dBi, 受信 7 dBi LHCP)
G/T	-17 dBK
EIRP	6.5 dBi
通信方式	デジタル FM によるパケット通信 (伝送レート: 100 bps)
電源 重量	鉛シール蓄電池 (約40分連続使用可能) 13 kg

を用いた実験では誤り率特性, 通話実験が行われた。BER=10⁻³程度まで通信が可能であった。

自動車へ搭載しての走行実験のほか, JR 東日本の協力を得て第6図の東北及び上越新幹線を用いた列車実験も実施した⁽¹⁶⁾。実験は3 dBの無追尾アンテナを列車上

部に取り付け伝搬特性, 雑音特性データを取得した。雑音対策としてアンテナの指向性, 取り付け位置の重要性が確認されている。

陸上移動用の局としては, この他パケットとして1回につき40文字を低速 (100 bps) で伝送する, 携帯型メッセージ通信機を開発, 基本的な信号伝送実験を行い, 同期特性, 誤り率特性等のデータを取得し, C/N₀=33 dBHz で通信が可能であることがわかった⁽¹⁷⁾。第7表にメッセージ通信機の諸元を示す。

7. 通信測位実験

移動体に対する測位及び通信の複合技術の開発のため, 2衛星を用いた測位実験計画を推進している。衛星は ETS-V の他インマルサット太平洋衛星あるいは CS-3 の使用を計画しており⁽¹⁸⁾, 第8表に示すようなトン, SCPC, SS 各方式について装置開発を行い特性評価を行っている。

第8表 通信測位複合システム信号諸元

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

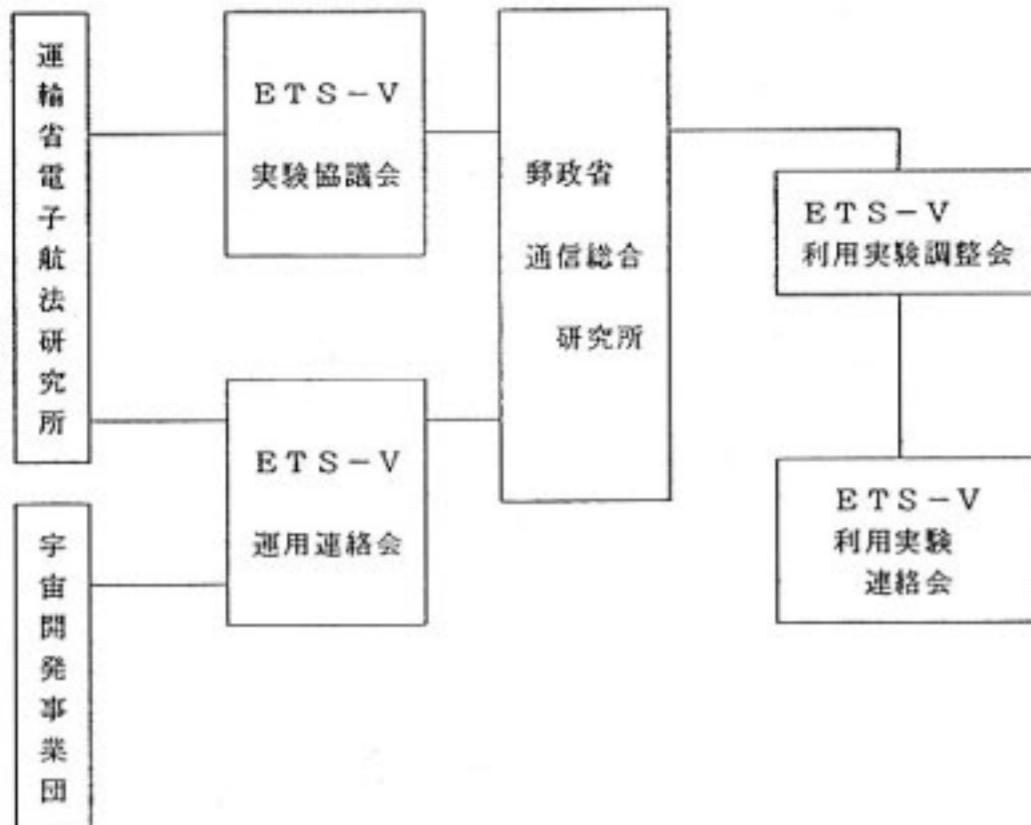
8. 利用実験

郵政省は移動体衛星通信技術の発展を図るため ETS-V 利用の機会を提供する目的で「ETS-V 利用実験計画」を推進している。第7図に利用実験実施体制を示す。

計画は平成元年4月より開始され, 現在, 「ETS-V 利用実験連絡会」には第9表に示すような10以上の機関が参加している。

第9表 利用実験参加機関 (1989年4月現在)

警察通信学校	トヨタ自動車株式会社
郵政研究所	日本交通管理技術協会
東海大学	日本電気株式会社
アイコム株式会社	日本無線株式会社
東海旅客鉄道株式会社	マツダ株式会社



第7図 利用実験体制図

9. その他

北海道大学工学部との共同実験として、船舶（「おしよ丸」）等を用いて医療情報伝送の方式的、装置的な確認、評価が行われた⁽¹⁹⁾。

CRL はまた、各種環境下でのデータ取得が可能で、国際的にも移動体衛星通信技術の発展に貢献できる事を考慮して「日本・オーストラリア科学技術協力協定」のもとで、オーストラリアの AUSSAT と ETS-V の Lバンド南ビームカバレッジをもちいた移動体通信の共同実験も開始した。実験では ACSSB 方式車載局の国際比較実験、オーストラリアでの走行実験データの取得等が行われている。

10. おわりに

ETS-V 及び AMEX の開発は順調に行われ軌道上でも良好な機能を示している。ETS-V/AMEX を用いた CRL をはじめとする多様な移動体通信実験は、低利得アンテナを有する小型の移動体局に対する衛星通信システムの実現性を身近に示した点で意義が大きい。更に世界初と言える（軍用を除く）航空機、陸上移動体に対する本格的な衛星通信実験、また移動体衛星通信へのデジタル通信方式の採用等による多くの実験成果は、今後の移動体衛星通信システム研究にとり貴重なものとなるであろう。

種々の困難を乗り越え約10年にわたり検討、調整、開発等を進めてこられた郵政省、運輸省、科学技術庁、CRL、ENRI、NASDA、及び関連メーカーの諸先輩、関係各位に感謝致します。実験に必要な移動局搭載に協力頂く JAL、北海道大学、JR 東日本の関係各位に感謝致します。

参考文献

- (1) S. Miura, H. Morikawa, Y. Watanabe and S. Morimoto, "Aeronautical Maritime Engineering Satellite (AMES) program of Japan", 16th IAF, Tokyo 1980.
- (2) 山本 稔, 大森慎吾, 小坂克彦, 浜本直和, 若菜弘充, 長谷良裕, 鈴木龍太郎, 西垣孝則, 近藤喜美夫, "ETS-Vによる移動体衛星通信実験—全体計画と実験速報—", 第74回電波研究所開発, 昭63年5月.
- (3) 近藤喜美夫, 大森慎吾, 星野尾一明, 山田重雄, "技術試験衛星V型と移動体通信実験", 信学誌, 71, 12, pp. 1288-1298, (1988).
- (4) 西 周次, "ETS-V を用いた航行援助実験計画", 航海, 89号, pp. 29-38, 昭61.
- (5) 鈴木誠史ほか, "技術試験衛星V型を用いた移動体衛星通信実験システム", 電波季, 34, 特6, 昭63.
- (6) 近藤喜美夫, 浜本直和, 石出 明, 星野尾一明, 山田重雄, 二川憲夫, 玉井保夫, "ETS-V搭載移動体通信実験用トランスポンダの設計と特性", 信学論文誌, B-II, 72-B-II, 7, pp. 343-350 (1989-07).
- (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, "船舶衛星通信実験", 第76回通信総研開発, 平成元年5月.
- (8) S. Ohmori, S. Miura, "A fading reduction method for maritime satellite communications", IEEE Trans AP-31, No. 1, Jan. 1983.
- (9) 三浦 龍, 大川 貢, 坂齋 誠, 川又文男, 浜本直和, "ETS-V/EMSS TDM/TDMA 実験速報", 昭63信学総全大B-204.
- (10) 長谷良裕, 若菜弘充, 平良真一, 大森慎吾, "ETS-V衛星を用いた航空衛星通信実験", 信学論B-II, 72-B-II, 7, pp. 276-284, 1989年7月.
- (11) 井出俊行, 鈴木龍太郎, 齊藤秀俊, 飯塚 茂, "インマルサット航空衛星通信実験の結果報告", 信学技報, SAT88-11, 1988年7月.
- (12) 浜本直和, 長谷良裕, 松本 泰, 門脇直人, "陸上移動体衛星通信における都市内伝搬特性例", 信学春季全大, B-249, 1989年.
- (13) T. Saruwatari and H. Ryuko, "Propagation characteristics for land mobile satellite systems in 1.5 GHz band", Proc. of ISAP '89, 3D2-2.
- (14) 平良真一, 井家上哲史, 鈴木龍太郎, 多田俊一, 河原秀規, "ACSSB 方式移動地球局の復調特性", 1989年信学秋季全大, B-119, 1989年.
- (15) 鈴木龍太郎, 井家上哲史, 市吉 修, 西川 誠, 田

- 中伸一, “移動体衛星通信用変復調装置の開発”, 昭63信学総全大, B-223.
- (16) 橋本幸雄, 浜本直和, 井出俊行, 能登 治, 近藤喜美夫, “ETS-Vを用いた新幹線走行時の伝搬特性測定計画”, 信学春季全大, B-220, 1989年.
- (17) 丸山誠二, 門脇直人, 長谷良裕, “衛星系超低速携帯用メッセージ通信システム”, 信学論, B-II, J72-B-II, 7, pp. 269-275, 1989年7月.
- (18) 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63信学総全大, B-150.
- (19) 村上 肇, 清水孝一, 山本克之, 三上智久, 星宮望, 近藤喜美夫, “移動体衛星通信による医用情報伝送”, 信学論文誌, B-II, J72-B-II, 7, pp. 262-268, (1989-07).

