

EMSS 実験用車載局の基本特性

浜本 直和*¹ 鈴木龍太郎*² 井家上哲史*³
 平良 真一*³ 市吉 修*⁴ 佐藤 暢恭*⁵
 多田 俊一*⁶

(平成元年11月20日受理)

CHARACTERISTICS OF LAND MOBILE EARTH STATIONS FOR THE EMSS PROJECT

By

Naokazu HAMAMOTO, Ryutaro SUZUKI, Tetsushi IKEGAMI,
 Shinichi TAIRA, Osamu ICHIYOSHI, Nobuyasu SATO,
 and Syun-ichi TADA

A feasibility study on land mobile satellite communication was carried out using three kinds of mobile earth stations. These earth stations were developed after considering the potential effect of such signal propagation characteristics as multi-pass fading and the blockage effect on future practical applications.

The first earth station employs the ACSSB (Amplitude Companded SSB) technique, which can transmit voice signal with narrow bandwidth. The second earth station uses a digital signal processing technique applied to both QPSK modulation/demodulation and voice coding/decoding. The third earth station employs the spread spectrum (SS) system using a matched filter technique for de-spreading a receiving signal. This paper introduces the configurations of these earth stations and also reports on their performance. Additionally, an example of signal propagation characteristics in an urban area is presented. These are experimental results using the ETS-V satellite.

1. はじめに

陸上移動体衛星通信システムの研究開発は、MSAT計画(カナダ)⁽¹⁾、LMSS 実用化のための計画(米国)⁽²⁾等が公表され、実用化のための計画が進行中である。一方、我が国では、技術試験衛星V型(ETS-V)を用いた移動体衛星通信実験が行われており、その一つとして将来の陸上移動体衛星通信のための基礎技術の確立を目指した陸上移動体衛星通信実験が開始された。陸上移動体衛星通信技術の開発はまだ始ったばかりで、電波伝搬特性、サービス形態、最適変復調方式等これから研究、

開発、検討しなければならない課題が数多くある。

例えば、サービス形態から見ると、走行中/携帯/半固定、通常/遭難通信、音声/データ/メッセージ伝送の組合せによる多岐にわたるサービスが考えられ、また地上系の移動通信網との接続や測位機能をも付加した統合移動体通信への発展も期待される。また実用に即した変復調器の開発を行うためには、陸上移動体衛星通信に特有の電波伝搬特性を明らかにすることや、実際の地球局を用いた性能評価が必要である。

そこで、通信総合研究所では陸上移動体衛星通信システムの基礎技術確立のため、以下に示す3種の陸上移動体地球局(車載地球局)の開発を行った。

- ACSSB (Amplitude Companded SSB) 変調方式を用いた車載局、
- QPSK 変調方式を用いた車載局、
- スペクトル拡散方式(SS)を用いた車載局。

*1 宇宙通信部 衛星通信研究室

*2 宇宙通信部 移動体通信研究室

*3 鹿島宇宙通信センター 第二宇宙通信研究室

*4 ㈱日本電気 衛星通信方式開発部

*5 ㈱東芝 小向工場

*6 ㈱ケンウッド 技術開発本部

これらの車載地球局はアナログ変調、デジタル変調、スペクトル拡散変調とそれぞれ異なる特徴を有しており、移動体衛星通信特有の伝搬状況での動作特性を把握し比較評価することができる。本報告はこれらの車載地球局について、その構成及び主要諸元を初期実験結果を交えて紹介する。また、陸上移動体衛星通信において重要となる伝搬特性の一例として、都市内一般道路における受信電力累積分布測定例について述べる。

2. システムの要求条件

地上の陸上移動通信システムとは異なり、陸上移動体衛星通信システムでは回線マージンが中継器出力の制限によりあまり大きく取れない。従って、構造物等の遮蔽によるブロッキングやマルチパスによる回線 C/N の減少は、信号品質の低下だけではなく、同期系を有する復調器での同期はずれを引起す。また高速で移動するような場合には、ドップラーシフトによる周波数ずれが問題となる。さらに車載局ではビーム幅の広い小型アンテナを搭載するため、同じ周波数帯を用いる地上の既存システムとの干渉を考慮する必要がある。また、限られた中継器出力電力と周波数を有効に利用するため、音声を伝送する場合にもできるだけ所要帯域幅を狭くすることが望ましい。

これらの事から、陸上移動体地球局に要求される条件として、

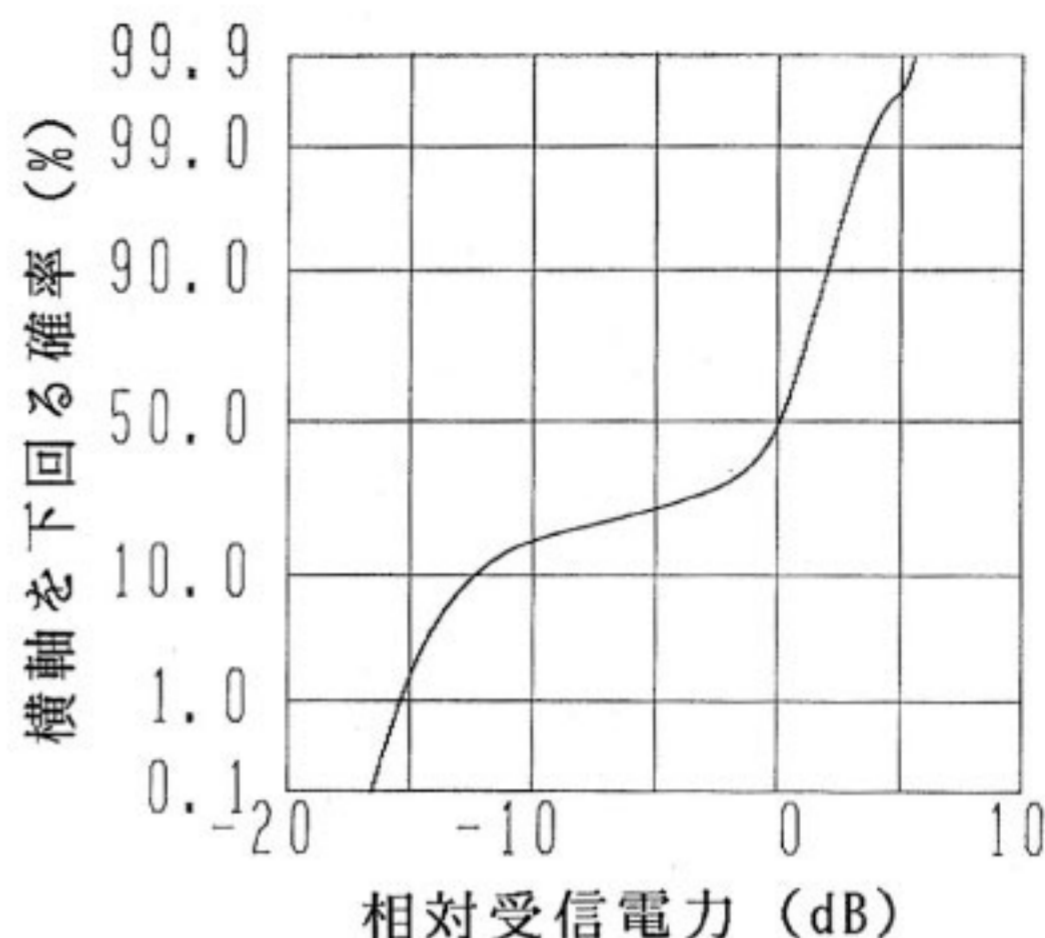
- 低 C/N での安定した復調動作
 - 高速同期引き込み
 - アナログ伝送、高能率音声符号化等による狭帯域化
 - ドップラーシフト対策
 - 干渉軽減対策
 - 装置の小型軽量、低消費電力化
- 等を考慮する必要がある。

3. 伝搬特性測定例

車載局の開発を行うためには、陸上移動体衛星通信における伝搬特性上の問題点を明らかにしておく必要がある。そこで、特に条件の厳しいと思われる都内において ETS-V から信号を走行状態で受信し、都市部における伝搬特性を測定した⁽³⁾。

測定系には無指向性パッチアンテナ (6 dBi) を用い、ワゴン車の屋根にそれを搭載し走行中の受信電力をスペクトルアナライザ (帯域 1 kHz) で測定し、その検波出力をデータレコーダに記録した。さらに、統計処理のためデータレコーダ出力を 250/秒でサンプルし、さらに 5 データ毎の単純平均を行っている。

走行場所は武蔵野市～井の頭通り～環七附近～新宿副



第1図 都市部を走行中の受信電力累積分布

都心～青梅街道～武蔵野市のおおよそ 30 km (所要時間 1 時間 45 分) である。走行は平日の午後に一般道路で行っており、信号待ち等による渋滞で停車中の時間もかなりあるため、平均速度は 17.4 km であった。

第1図に走行中の全データを用いた受信電力の累積分布 (時間率) を示す。この結果から、次の事が言える。

- (1) 受信電力が -130 dBm 以上ではマルチパスフェージングやその他の影響 (衛星送信電力の変動や車載アンテナパターンの非等方性) による 5 dB 程度の受信電力の変動の分布を示す。
- (2) -130 dBm 以下はブロッキングによる分布を示している。
- (3) ブロッキングによる影響は、全走行中の 30% 程度ある。

以上のことから都市部での移動体衛星通信では、マルチパスによるフェージングマージンを 5 dB 程度とる必要のあること、またブロッキングによる信号断の発生が無視できず、高速の信号捕捉法やブロッキングを考慮した通信形態の検討が必要であることが分る。

4. 回線設計

回線諸元の見安として、車載局と鹿島に設置された海岸/航空地球局 (親局) 対向の回線設計例を第1表に示す。ここで、車載局のアンテナとしては無指向性アンテナ (利得 = 3 dBi) を、変復調器の所要 C/N₀ は 45 dBHz (伝送速度 4.8 kbps の 2 相 PSK で、所要の BER が 10^{-3} ~ 10^{-4} 程度に相当) を想定している。また、親局 → 車載局回線 (C/L 回線) では使用可能な中継器出力電力全てを 1 波に割当てており、車載局 → 親局回線 (L/C 回線) では車載局送信出力を 20 W としている。フェージ

第1表 回線設計例

項目	単位	親局	車載局
		↓ 車載局	↓ 親局
地球局			
送信電力	dBm	47.1	43.0
送信 ANT. 利得	dB	51.2	3.0
E.I.R.P.	dBm	98.3	46.0
伝搬損失	dB	199.4	188.2
衛星			
受信 ANT. 利得	dB	18.3	23.3
受信電力	dBm	-82.8	-118.9
雑音電力密度	dBm/Hz	-169.9	-170.6
上り回線 C/N ₀	dBHz	87.1	51.7
中継器利得	dB	122.4	123.4
送信電力	dBm	39.6	4.5
送信 ANT. 利得	dB	22.8	19.3
E.I.R.P.	dBm	62.4	23.8
伝搬損失	dB	187.6	198.2
地球局			
受信 ANT. 利得	dB	3.0	53.2
受信電力	dBm	-122.2	-121.2
雑音電力密度	dBm/Hz	-172.6	-178.0
下り回線 C/N ₀	dBHz	50.4	56.8
総合 C/N ₀	dBHz	50.4	50.5
所要 C/N ₀	dBHz	45.0	45.0
フェージングマージン	dB	5.4	5.5

ングマージンを 5 dB 程見積もると C/L 回線には 1 波しか収容できず、収容局数の増大や伝送速度の増大のためには車載局のアンテナ利得を高くする必要のあることがわかる。例えば、12 dBi の指向性アンテナを用いれば、アンテナ追尾機構は必要となるが、同時通信局数は 9 波

まで可能となる。

5. 陸上移動体地球局の構成と性能

陸上移動体衛星通信実験を行うために、3種類の異なる変調方式を用いた移動体地球局を開発した。これらの装置は、通信機メーカーとの共同研究により開発されたものであり、ACSSB を用いた地球局は関ヶノウッド、QPSK を用いた地球局は日本電気株式会社、スペクトル拡散方式を用いた地球局は東芝がそれぞれ担当している。各地球局の主要諸元を第 2 表に示す。以下に各地球局の概要を述べる。

5.1 ACSSB を用いた車載局

本地球局は、アナログ変調方式である ACSSB を用いている。振幅変調方式のためしきい値効果が顕著に表れず、低 C/N での通話が可能であることが特徴である。本地球局の構成を第 2 図に示す。

(1) RF 系

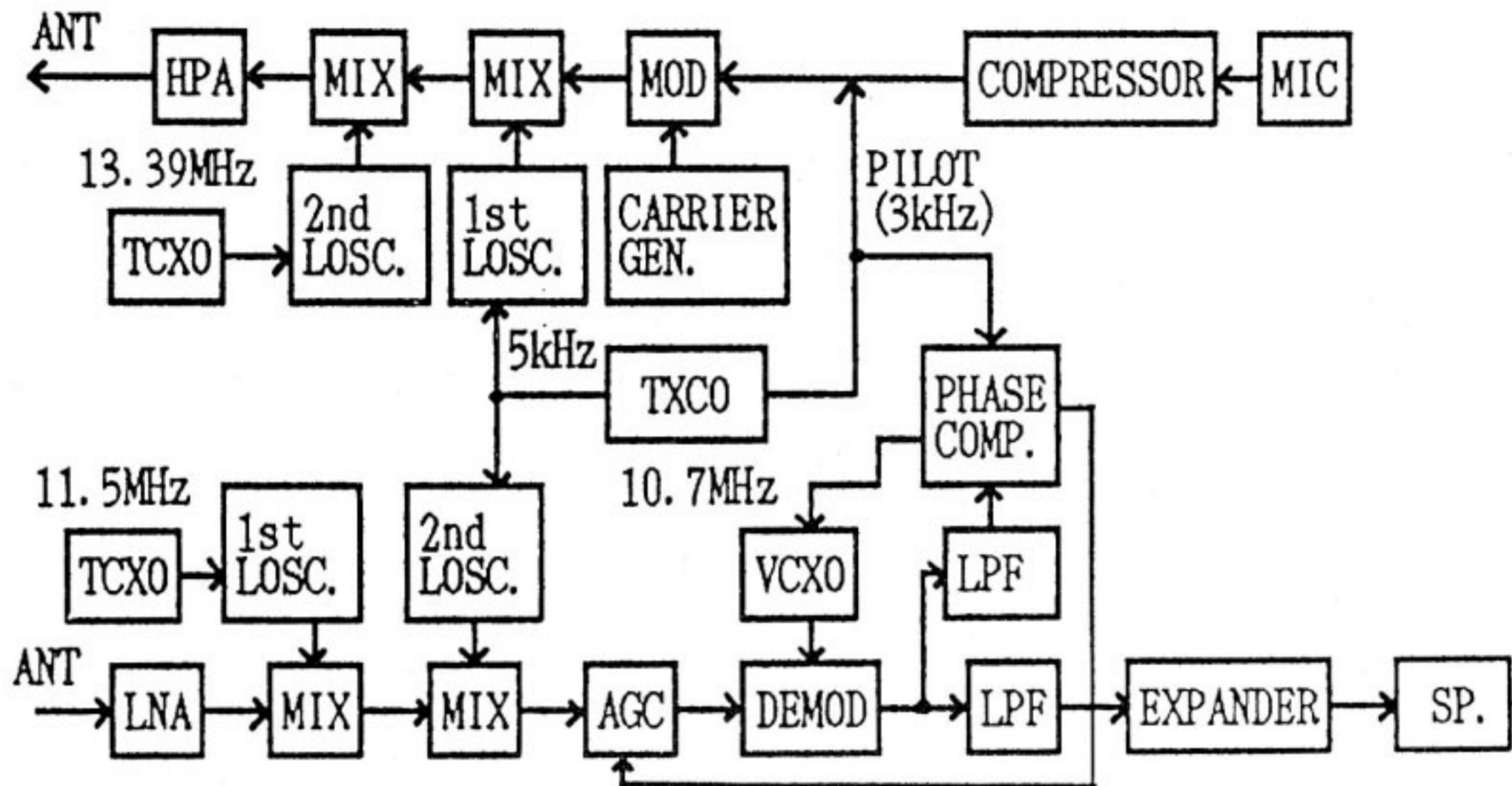
送信機は GaAs-FET を用いた直線増幅器で最大出力 20 W である。周波数変換部には TCXO (Temperature Compensated X'tal Osc.) を基準発信器に用い、-10°C ~ 60°C の範囲において $\pm 0.5 \times 10^{-6}$ の周波数安定度を確保している。また、PLL の位相比較周波数を高くすることにより、振動に依る影響を低減している。なお、走行実験においては送受独立のパッチアンテナ (4 dBi) を用いる。

(2) 変復調系

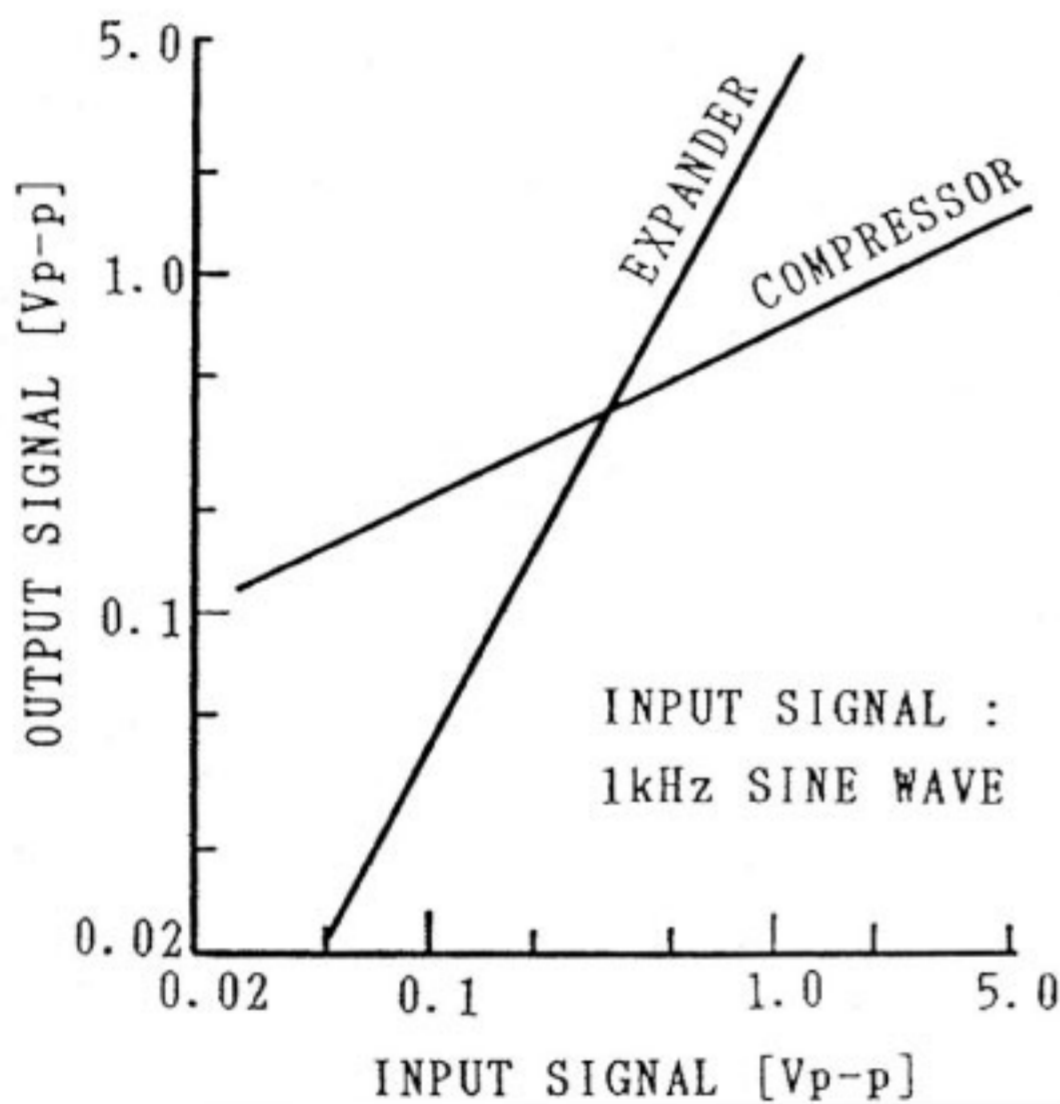
変調部では、音声信号の振幅をコンプレッサにより対数圧縮し 3 kHz のパイロット信号を合成した後、SSB 変調を行う。復調部では、まず音声信号とパイロット信号を分離する。音声信号はエキスパンダにより振幅の対

第 2 表 陸上移動体地球局主要諸元

	ACSSB	QPSK	SS
アンテナ	送受独立無指向性 パッチアンテナ	(1)送受兼用無指向性 4 線巻ヘリカル (2)送受兼用指向性ヘリカル	送受独立高次モード マイクロストリップ
アンテナ利得	4 dBi	(1)3 dBi (2)12 dBi	6 dBi
送信機出力	A 級 20W	A 級 20W	A 級 20W
受信機 NF	2 dB	2 dB	1.2 dB
変復調方式	ACSSB (1/2 コンパンダ エキスパンダ付)	QPSK 同期検波	BPSK-SS コヒーレントマッチド フィルタ復調方式
伝送速度	3 kHz (伝送帯域幅)	9.9 k/8.3 k/5.1 kbps (300 bps の UW を含む)	2.4 kbks (PN レート: 2.4552 MHz)
FEC	—	1/2 畳み込み符号化/Viterbi 復調	—
音声符号化	アナログ	MPC	LPC



第2図 ACSSB 車載局の構成

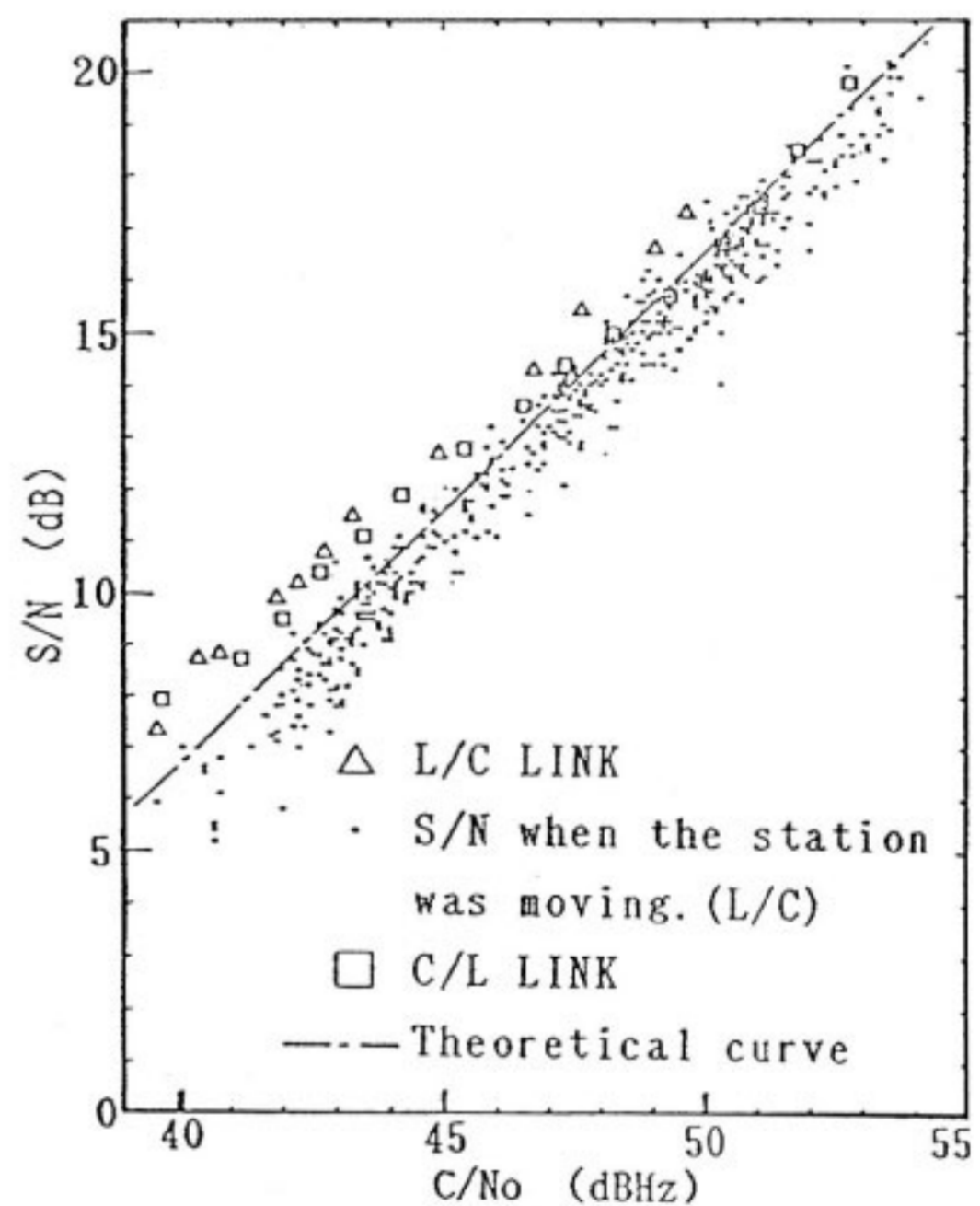


第3図 コンプレッサ及びエキスパンダ特性

数伸張を行い、もとのダイナミックレンジを再現する。エキスパンダは無音時において雑音を抑圧する動作を行うため、聴感上の S/N を向上させ了解度を改善する。受信側では、PLL (Phase Lock Loop) を用いて受信パイロット信号に位相同期した復調搬送波を再生する。これにより音声を正しい周波数に復調することが可能になる。本同期系の周波数引き込み範囲は $\pm 1\text{kHz}$ であり、実用上十分な値となっている。

(3) 基本特性

第3図にコンプレッサ及びエキスパンダの特性、第4図に C/N_0 対 S/N 特性を示す。第4図の結果から、

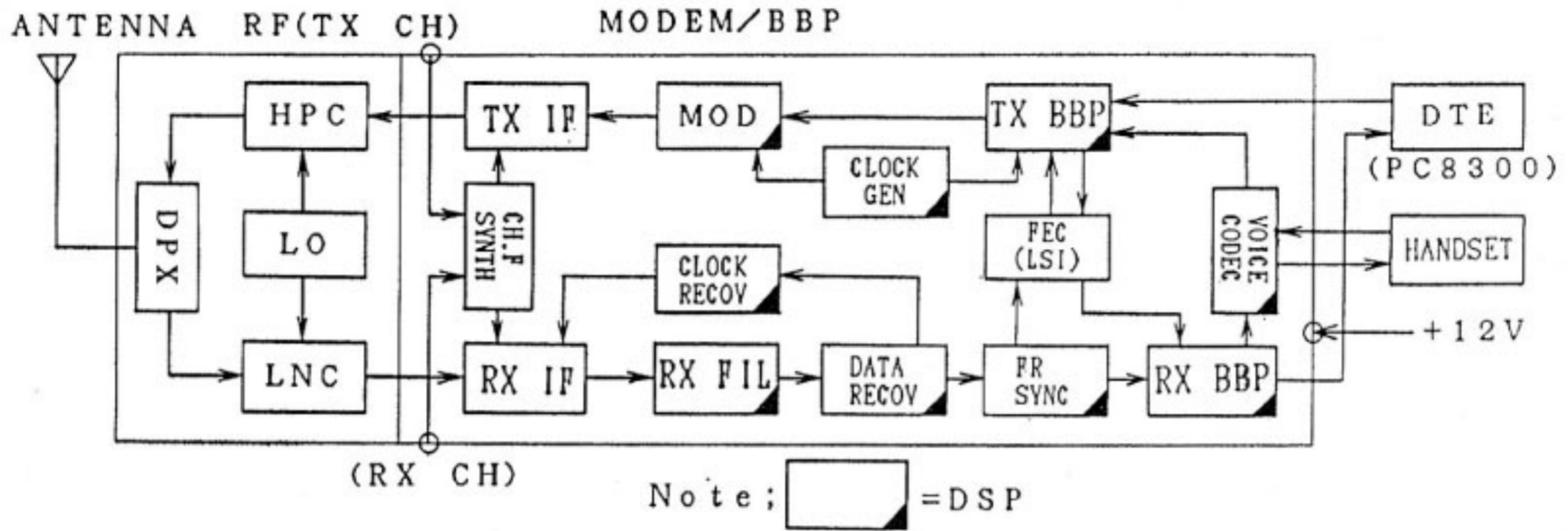


第4図 ACSSB 変復調器の C/N_0 対 S/N 特性

S/N と C/N_0 は線形関係にありしきい値効果のないことが分かる。また、本システムにおける音声了解の限界は $C/N_0 \sim 45\text{dBHz}$ であった。

5.2 QPSK を用いた車載局

本陸上移動体地球局は QPSK 変調方式を用い、デジタル化音声伝送の他に、データ、メッセージ伝送が可能な地球局である。これは、将来の陸上移動体衛通信の



第5図 QPSK 車載局の構成

多方面への応用を考慮したものである。本地球局の構成を第5図に示す。

(1) RF系

本地球局のRF系は、ACSSBに用いたものとはほぼ同様であるが、送受共通のアンテナを使用できるようダイプレクサを用いていることと、周波数変換部の基準発信器を送受共通として簡易化を図っていることである。アンテナには無指向性の4線巻ヘリカルアンテナ、指向性を持つヘリカルアンテナ、及び機械追尾式のスパイラルアレーアンテナ⁽⁴⁾が用いられる。無指向性アンテナは利得は低い但し追尾機能が不用のため簡易な地球局を構成できる。また指向性ヘリカルアンテナは半固定の用途の用いられ、利得が高く高品質の通信が可能である。機械追尾式のスパイラルアレーアンテナは、ビームを電氣的にAz方向に小さく振って受信電力が大きくなる方向を検出し、アンテナ本体を機械的に回転させて衛星方向を自動追尾する。

(2) 変復調系

本装置の変復調部、及びベースバンド処理部はDSP(Digital Signal Processor)により構成され、デジタル信号処理技術を駆使して多機能性に富む装置を実現している。また、走行時のドップラーシフトによる周波数変動に対して確実に同期保持を行うため、AFC付位相同期回路を採用している。その結果、変調速度に対して±10%の同期引き込み特性を実現した。

音声の伝送速度は9.6k、8k及び4.8kbpsの切替が可能であり、使用するアンテナや回線品質に応じて使い分けることができる。また、パケット型のメッセージ伝送、連続データ伝送も可能であり、さらにソフトウェアの入替えによりACSSBの様なアナログ伝送にも対応できる。

(3) 基本性能

無指向性及び指向性アンテナの諸元及び測定したアンテナパターンの測定結果を第3表に示す。また、無指向

第3表 QPSK 車載局用アンテナ諸元と放射パターン

	無指向性4線巻ヘリカル	指向性ヘリカル	機械追尾式スパイラルアレー
利得(dB)	3dBi	12dBi	15dBi
偏波	左旋円偏波	左旋円偏波	左旋円偏波
軸比	< 2dB	< 2dB	< 2dB
追尾	不必要	手動	自動追尾
パターン			

第4表 アンテナ雑音温度

無指向性ヘリカリ	107.7 K
指向性ヘリカリ	68.5 K

性4線巻ヘリカルアンテナ及び指向性ヘリカルアンテナ雑音温度を第4表に示す。指向性アンテナの方がビーム幅が狭く大地からの熱雑音の影響を受けにくいいため、無指向性アンテナに比べ雑音温度が4割程低い。

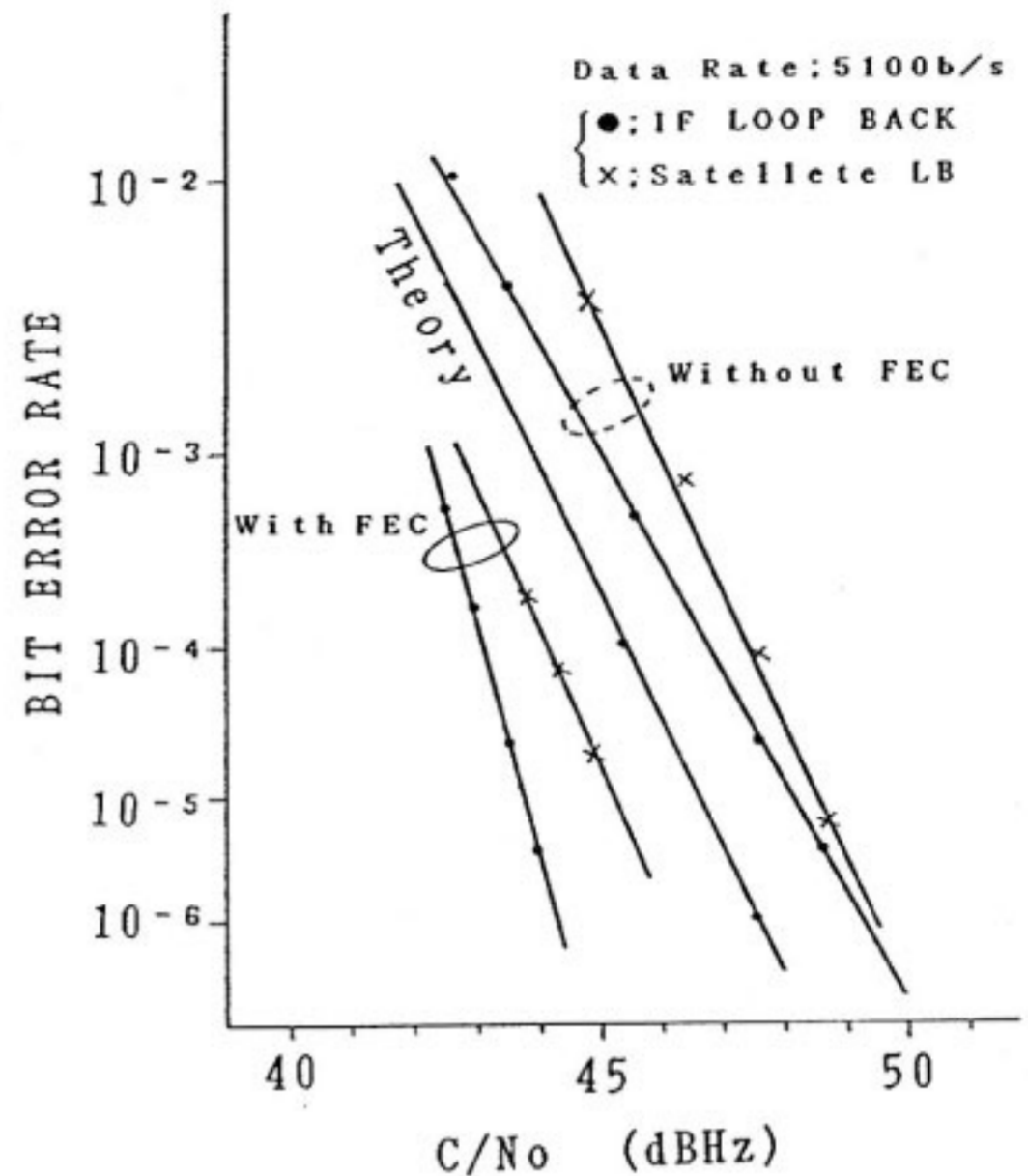
第6図に本装置を4.8 kbps で用いた場合の符号誤り率特性を示す。衛星折返しの特性で理論値からの劣化は約2 dBあった。音声品質に関しては、9.6 k及び8 kbps では指向性アンテナを用い十分な了解度の得られることを確認した。また4.8 kbps モードと無指向性アンテナの組合せによる小金井市周辺の市街地での走行実験を行い、ブロッキング等による回線断の後の復帰は1秒以下であること、音声品質はまだ改善の余地はあるが十分な通話のできることを確認している。

5.3 SSを用いた車載局

本陸上移動体地球局はSS変調方式を用いてデジタル音声伝送を行う地球局である。SS方式は他のシステムとの干渉が少なく、またランダムアクセスが容易に実現できる特徴がある。本地球局の構成を第7図に示す。

(1) RF系

本地球局では、送受独立の高次モードマクロストリップアンテナを用いる。本アンテナはAz方向が無指向性、El方向は仰角55度を指向しており、国内で運用する場合は追尾不用である。送信機は出力20 WのA級増

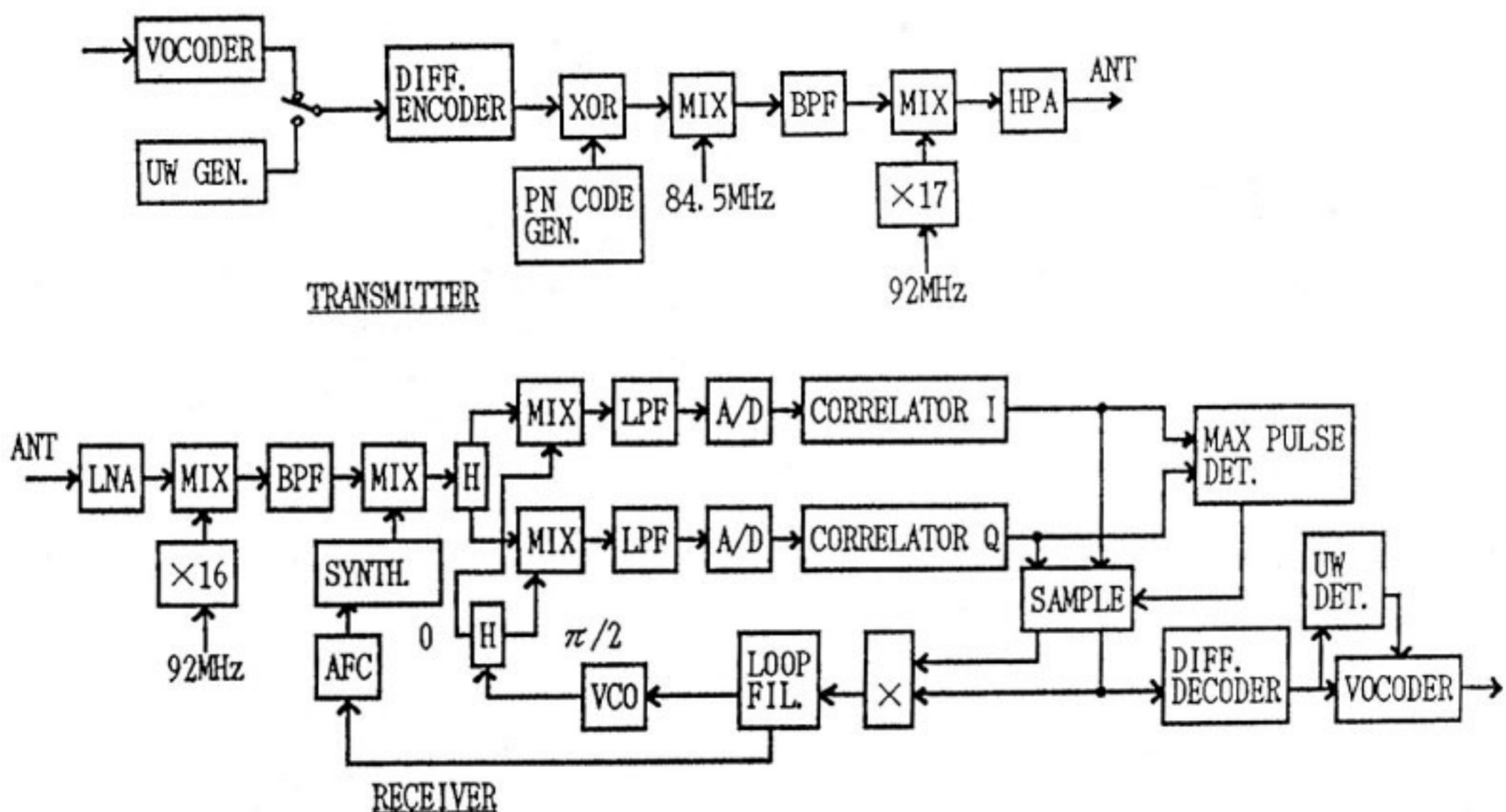


第6図 QPSK変復調器のBER特性

幅器で、帯域外へのスペクトルの広がりを防止している。

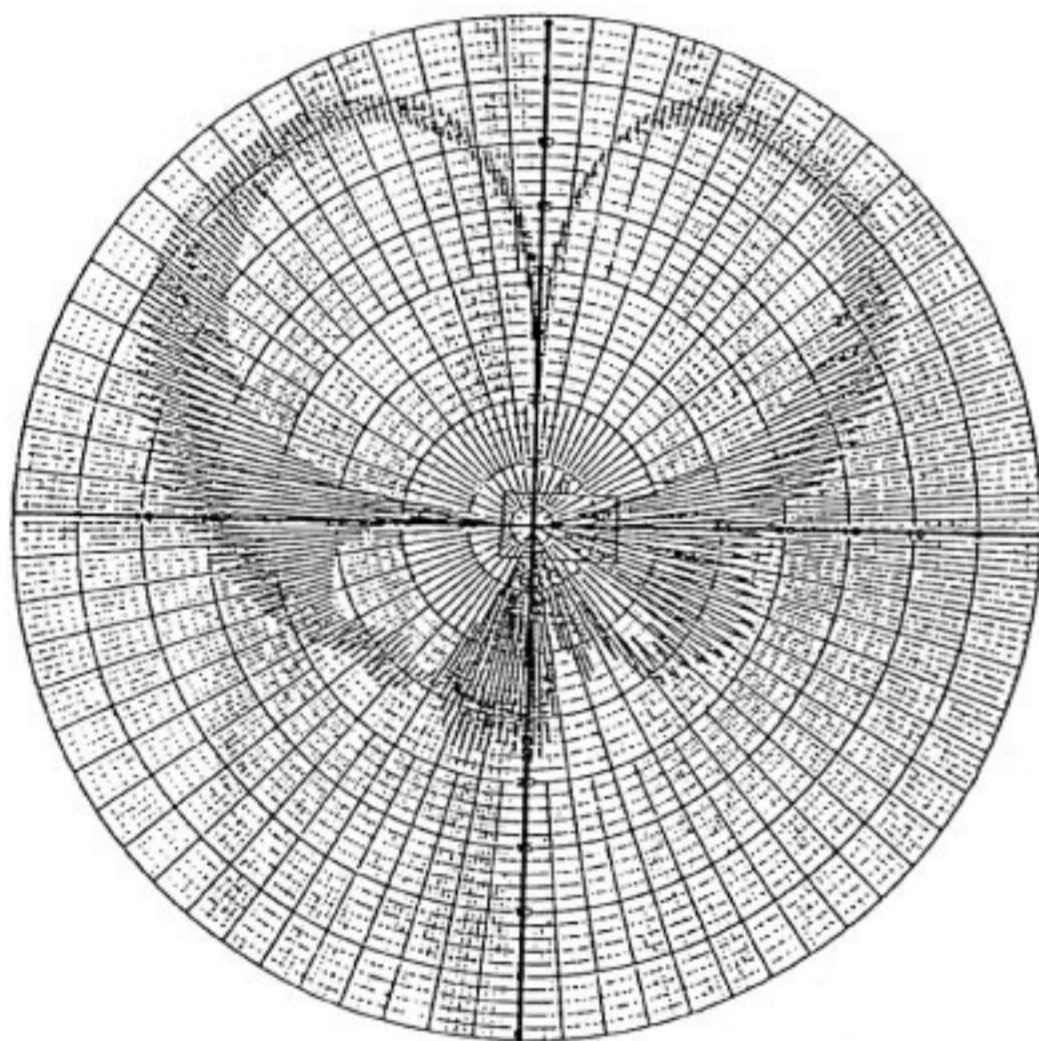
(2) 変復調系

変調部は、2.4 kbpsの情報を符号長1023のPN符号(クロックレート2.4552 MHz)で拡散し、BPSK変調して送信する。復調部は文献(5)を拡張した多値整合ろ波器を用いた復調方式を採用している。本方式は、相関器の出力を帰還して搬送波再生ループを構成し、広帯域

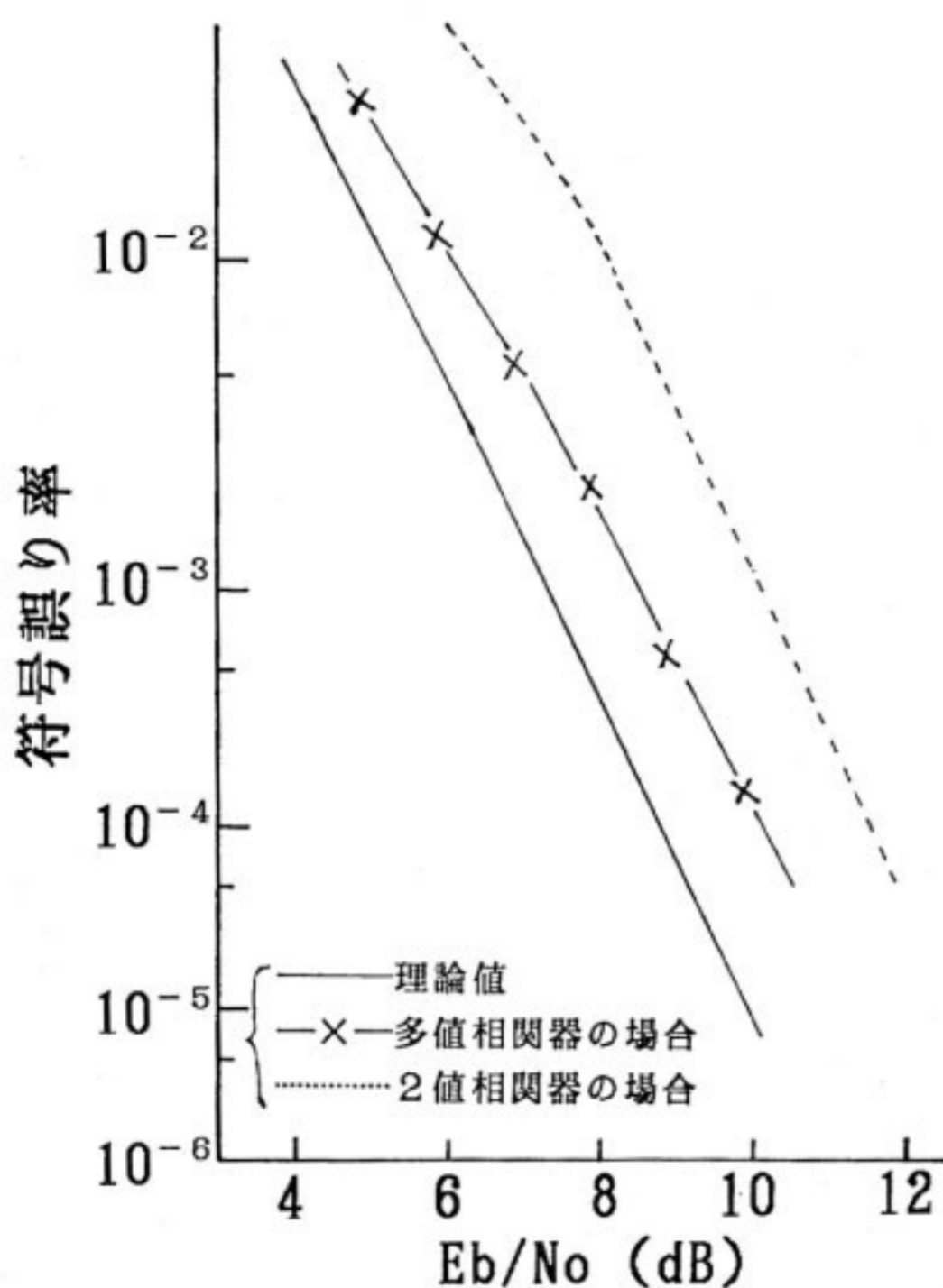


第7図 SS車載局の構成

の受信 SS 信号の同期検波及び情報抽出を行うシンプルな回路構成になっており、また初期接続に要する時間が短かいといった特徴を有する。さらに今回開発した装置では相関器の多値化により、2値相関器で問題となる再生搬送波の位相ジッタ及び復調損失を低減できる。



第8図 高次モードマイクロストリップアンテナの放射パターン



第9図 SS変復調器のBER特性

また、本装置には衛星の周波数変動やドップラシフトに対する対策として、AFC機能を有している。初期同期前の周波数捕捉では、ローカル周波数をスイープして整合る波器の相関出力の最大になる受信周波数を求め、同期後は搬送波再生ループでの周波数追尾とローカル周波数の微調整を行う。

音声符号化には2.4 kbps LPC方式ボコーダを採用し、狭帯域化を図っている。

(3) 基本性能

第8図に、高次モードマイクロストリップアンテナの実測放射パターンを示す。ピーク利得6 dBiが得られている。また、本方式のSS復調方式における初期接続時間は、±10 kHzの周波数スイープを含めて1秒以下であることが確認されている。また本装置によるBER特性及び2値相関器を用いた場合のBER特性⁽⁵⁾を第9図に示す。多値相関器による復調方式を採用したため、2値判定で問題となる劣化がなく、2値相関器を用いた場合に比べBER特性が約1.5 dB改善された。

本装置で用いた2.4 kbps LPC方式ボコーダはかなり低速であったにもかかわらず、通話テストにおいては相手の識別が可能ほどの明瞭度を示した。

6. む す び

ACSSB, QPSK, SS方式を用いた陸上移動体地球局の構成とその基本的な性能について述べた。しかしながら、本報告においては各地球局の動作特性を比較検討し、詳細な結果を得るまでには至っていない。また、都市部における伝搬特性についてその測定例を示した。陸上移動体衛星通信システムの実用化にあたっては伝搬特性の把握が重要であるが、伝搬データの蓄積は現在のところまだそれほど多くなく、今後さらに力を入れていく必要がある。今後、これらの課題を解決すべく実験及び検討を重ねて、将来の実用化のための基礎資料を得る予定である。

謝 辞

本研究を進める上で御指導頂いた前吉村宇宙通信部長、近藤移動体通信研究室長並びに装置の開発に協力頂いた関係各位の方々に感謝致します。

参 考 文 献

(1) J. L. McNally, et al., "Some Results of The MSAT Phase B Studies and Their Impact on System Design", IAF 84-89 (October 1984).
 (2) F. Naderi, et al., "NASA's Mobile Satellite Communications Program", IAF 84-89 (October 1984).

1984).

- (3) 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”, 1989年信学会春期全国大会予稿集 B-247.
- (4) A. Kuramoto, T. Yamane and N. Endo, “Mechanically Steered Tracking Antenna for Land

Mobile Satellite Communications”, IEEE AP-S pp. 1314-1317 (1988, Syracuse, NY).

- (5) 浜本直和, 鈴木龍太郎, 西山 巖, 三浦 竜, 西垣孝則, “整合ろ波器により直接 データ 復調を行う衛星通信用スペクトル拡散通信装置”, 信学論文誌 (B), J69-B, No. 11, pp. 1540-1547 (November 1986).

