

## ETS-V/EMSS メッセージ通信実験

門脇 直人\*<sup>1</sup> 丸山 誠二\*<sup>1</sup> 長谷 良裕\*<sup>1</sup>

鈴木龍太郎\*<sup>2</sup> 大森 慎吾\*<sup>1</sup>

(平成元年11月20日受理)

### ETS-V/EMSS EXPERIMENTS ON MESSAGE COMMUNICATIONS WITH HAND-HELD TERMINAL

By

Naoto KADOWAKI, Seiji MARUYAMA, Yoshihiro HASE,  
Ryutarou SUZUKI, and Shingo OHMORI

Communications Research Laboratory (CRL) has been conducting research and development of a very low rate message communication system with an ultra-small earth station which is called the Hand-held Message Communication Terminal (HMCT). An experiment of this terminal is one of the most important ETS-V/EMSS (Experimental Mobile Satellite System by using Engineering Test Satellite-Five) experiments.

In order to minimize the size of HMCT and power consumption, a transmitting rate of 100 bps is adopted, which is extremely low for radio communications. As the result of that, the size of the HMCT is similar to that of an attache case.

In the base station located at the Kashima Space Research Center of CRL, the FFT technique is used for searching for a very narrow band signal from the HMCT and compensation of frequency deviation of the signal.

This paper describes the very low rate transmission technique adopted in this system, and the configuration of the system. After that, bit error and acquisition performance is shown. Further, probability of completed message transmission is estimated under condition of retransmission permitted only once.

Based on these results, it is confirmed that such a very low rate transmission system as this system is applicable to satellite communications.

#### 1. ま え が き

郵政省通信総合研究所では技術試験衛星 5 型 (ETS-V) を用いた総合的な移動体衛星通信実験 (ETS-V/EMSS) を積極的に行なってきた。これらは主に船舶、航空機、自動車等の移動体に搭載した地球局を用いて行なわれているが、“いつでも、どこでも、誰とでも、しかも容易に” という通信の最終目標を達成するには超小型軽量で人が持運びできる携帯型地球局の開発が必要であり、世界的にも関心が高い<sup>(1)(2)</sup>。

衛星通信用地球局の超小型軽量化はハードウェア構成の大幅な簡略化が要求され、その結果、周波数安定度の低下および送信電力の制限を伴う。したがってその実現には、装置構成の簡略化とともに狭帯域低速伝送技術の開発が要求される。また通信形態としては、音声通信に比べ低速伝送への適応が容易で、電力消費が少ないパケット形態のメッセージ通信が現実的であるといえる。このような観点から当所では送信電力 1 W、伝送速度 100 bps のメッセージ衛星通信システムを開発した<sup>(3)(4)</sup>。

本メッセージ衛星通信システムでは、メッセージ通信用固定局 (以下固定局) 側に高速フーリエ変換 (FFT) 技術を用いた受信信号の周波数偏差検出機能および送受

\*<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

信周波数制御機能を持たせることにより、携帯局の小型軽量化と同時に狭帯域通信を実現している。

本論文では、超小型地球局による狭帯域伝送を実現する方式について紹介し、システムの構成と機能、更に ETS-V を用いて得られた実験結果を報告する。

## 2. 超小型地球局による狭帯域低速伝送方式

メッセージ通信用携帯局（以下携帯局）のような超小型地球局では、電源の制限により送信出力に大きな制約が生じるため低速伝送による通信を実現しなければならない。一方、装置の小型軽量化を重視すると基準発振器の高度な周波数安定性は期待できない。このような状況において狭帯域の低速伝送を実現するためには高精度な周波数補正技術が要求される。しかし周波数補正機能を携帯局に持たせることは小型軽量化を妨げることになる。この問題を解決するために本システムで用いた方法を以下に示す。

携帯局は送信部、受信部共通の基準発振器を1個だけ持つ構成とし<sup>(5)</sup>、また周波数補正機能を持たない。固定局では携帯局の送信周波数から基準発振器の周波数偏差を FFT を用いて検出<sup>(6)</sup>し、自局の受信周波数と送信周波数を検出された偏差だけ移動させる。これを第1図を用いて説明する。第1図では、衛星での周波数変換については説明の簡略化のため省略している。

移動局の公称基準周波数を  $f_0$ 、基準周波数のずれを  $\Delta f_0$ 、公称送信周波数を  $f_T$ 、公称受信周波数を  $f_R$ 、送信周波数のずれを  $\Delta f_T$ 、受信周波数のずれを  $\Delta f_R$  とする。実際の基準周波数  $f_0 + \Delta f_0$  から得られる送信周波数  $f_T + \Delta f_T$  と、受信周波数  $f_R + \Delta f_R$  の関係は携帯局の基準発振器が共通であることから常に一定となる。

固定局が携帯局からの信号を受信した際に行う周波数補正の手順は次の通りである。

①固定局受信部で FFT により  $\Delta f_T$  を検出する。

②固定局の受信用基準発振器を制御して受信周波数を規定値から  $\Delta f_T$  だけオフセットする。

③ $\Delta f_T$  から  $\Delta f_R$  を計算する。

$$(\Delta f_R = k \Delta f_T \quad k: \text{定数})$$

④固定局の送信用基準発振器を制御して送信周波数を規定値から  $\Delta f_R$  だけオフセットする。

この方法により移動局側では受信時に周波数補正を行う必要がない。

また FFT を採用することにより短時間で周波数偏差  $\Delta f_T$  を検出することが可能であり、携帯局の送信パースト中のプリアンブルを短くすることができる。

## 3. システムの構成

### 3.1 実験システムの概要

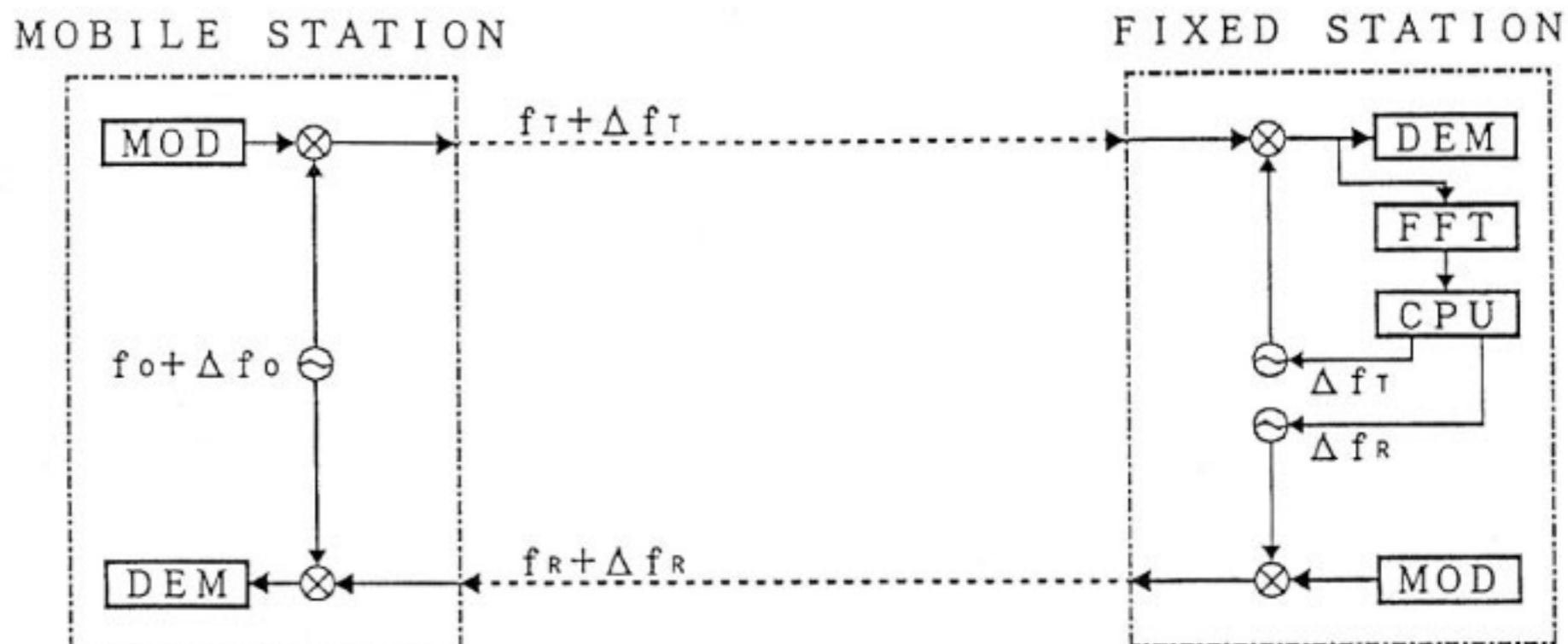
本システムの固定局は当研究所関東支所鹿島宇宙通信センターにある ETS-V/EMSS 基地局に設置され、携帯局は自由に持運び可能である。使用周波数は固定局と衛星間はCバンド、衛星と携帯局間はLバンドである。固定局から携帯局への回線をフォワードリンク、携帯局から固定局への回線をリターンリンクと呼ぶ。

基地局では衛星及び基地局 RF 系に起因する周波数変動を AFC 機能<sup>(7)</sup>により  $\pm 1 \text{ Hz}$  以内に保っている。その結果、前述した狭帯域伝送方式を実現するための周波数補正についてはこれらの要因を考慮する必要がない。

携帯局を鹿島支所構内に設置した場合の回線設計を第1表に示す。表に示されるように、本システムは回線設計上 10 dB 程度の回線マージンが期待できるが、機器等の劣化量を考慮したマージンについては実験結果に基づいて後述する。

### 3.2 通信方式

アクセス方式には携帯局側の負担軽減のため、アロハ方式（ランダムアクセス）を採用している。携帯局に周波数補正機能がないこと、及び移動時など必ずしも携帯



第1図 周波数偏差補正の原理



第1表 回線設計例

(a) 固定局→携帯局(鹿島)

基地局 EIRP/ch	53.6 dBW
伝搬損失 (6 GHz)	199.6 dB
衛星 G/T	-8.2 dBK
上り回線 C/N <sub>0</sub>	74.4 dBHz
衛星 EIRP/ch	20.0 dBW
伝搬損失 (1.5 GHz)	187.7 dB
携帯局 G/T	-17.1 dBK
下り回線 C/N <sub>0</sub>	43.8 dBHz
総合 C/N <sub>0</sub>	43.8 dBHz
所要 C/N <sub>0</sub>	31.0 dBHz
所要 BER	1×10 <sup>-4</sup>
回線マージン	12.8 dB

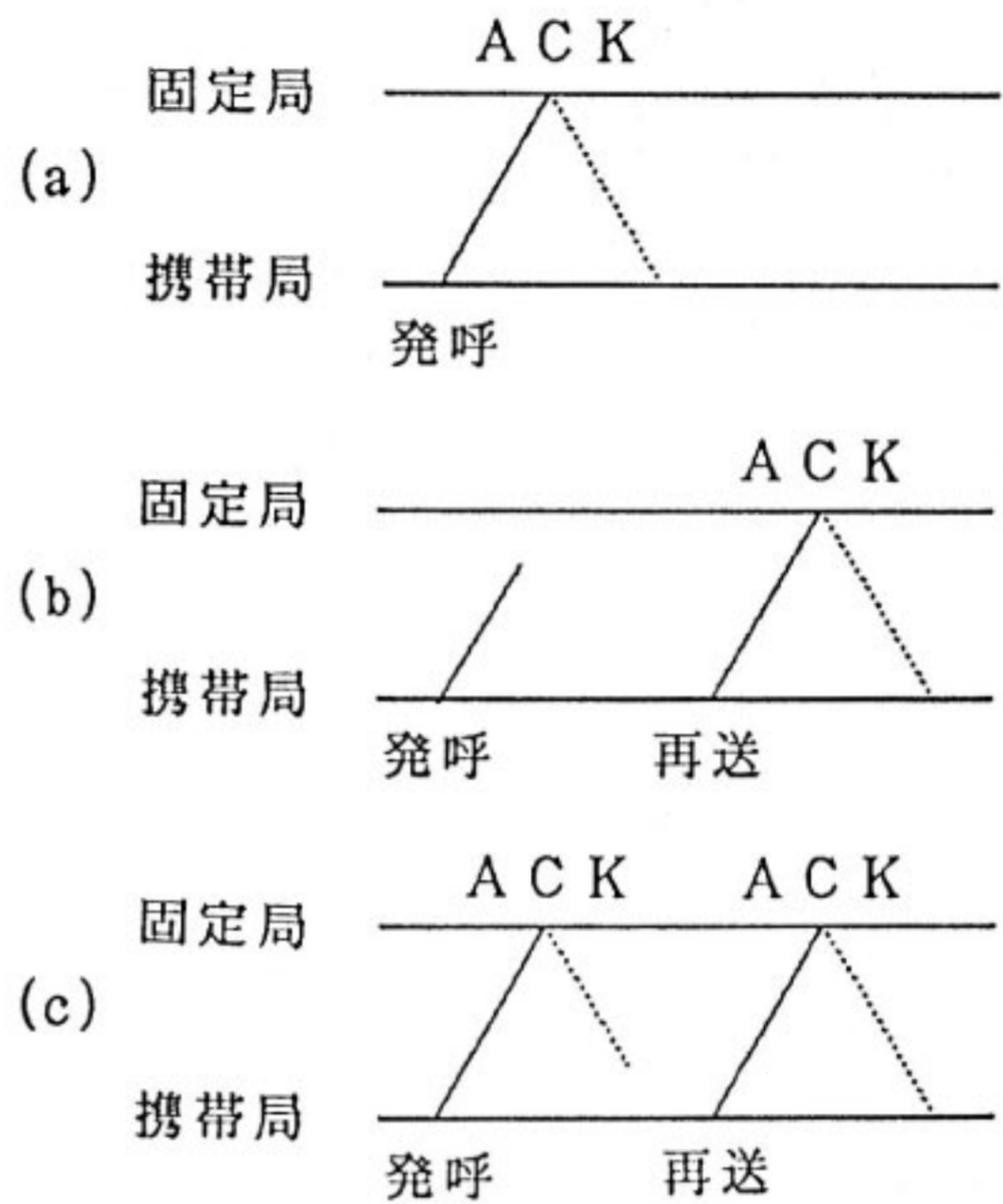
(b) 携帯局(鹿島)→固定局

携帯局 EIRP/ch	6.5 dBW
伝搬損失 (1.6 GHz)	188.3 dB
衛星 G/T	-5.0 dBK
上り回線 C/N <sub>0</sub>	41.8 dBHz
衛星 EIRP/ch	-16.7 dBW
伝搬損失 (5 GHz)	198.3 dB
基地局 G/T	32.7 dBK
下り回線 C/N <sub>0</sub>	46.3 dBHz
総合 C/N <sub>0</sub>	40.5 dBHz
所要 C/N <sub>0</sub>	31.0 dBHz
所要 BER	1×10 <sup>-4</sup>
回線マージン	9.5 dB

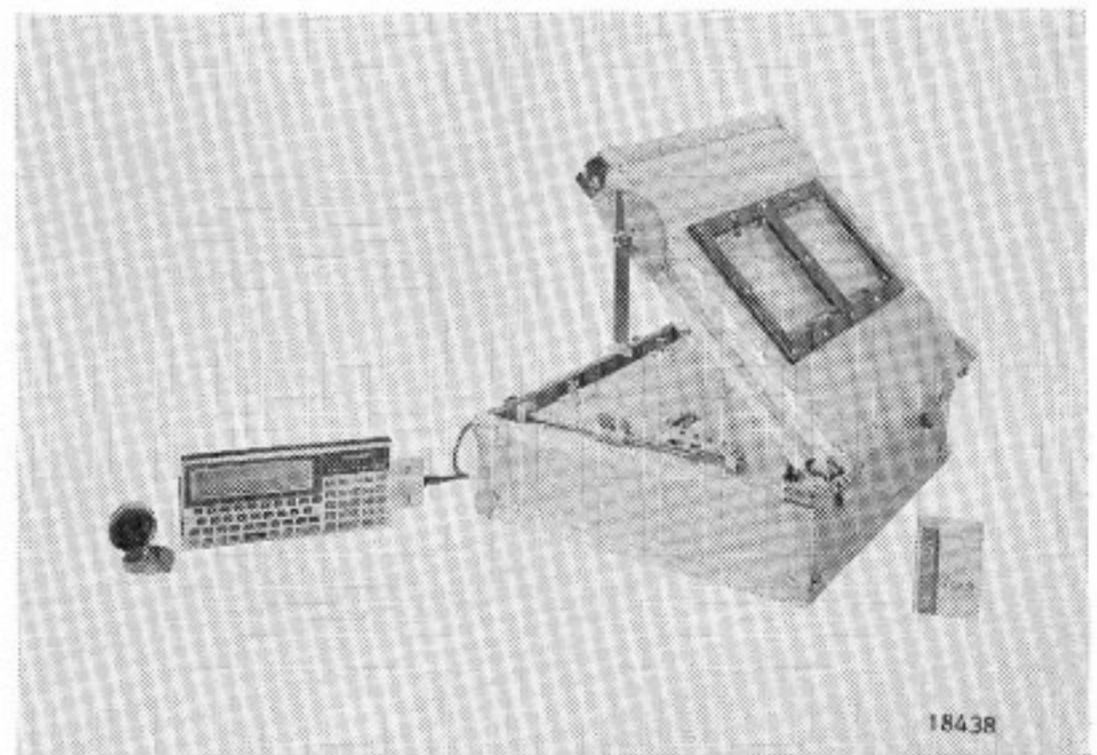
局が衛星を捕捉していないことを考慮し、発呼は携帯局からのみ可能な形態とした。

第2図に本システムのアクセス手順を示す。携帯局から送信されたメッセージに対して固定局は送達確認(ACK)信号を兼ねた返答メッセージを送信する。携帯局がACK信号を受信できない場合、メッセージの再送信を一回だけ行う。

メッセージは第3図に示すフレームフォーマットを用いてバースト状に送信される。プリアンプルの長さはアレイクイジョン特性の評価のためにキャリア再生部(CW)



第2図 アクセス手順



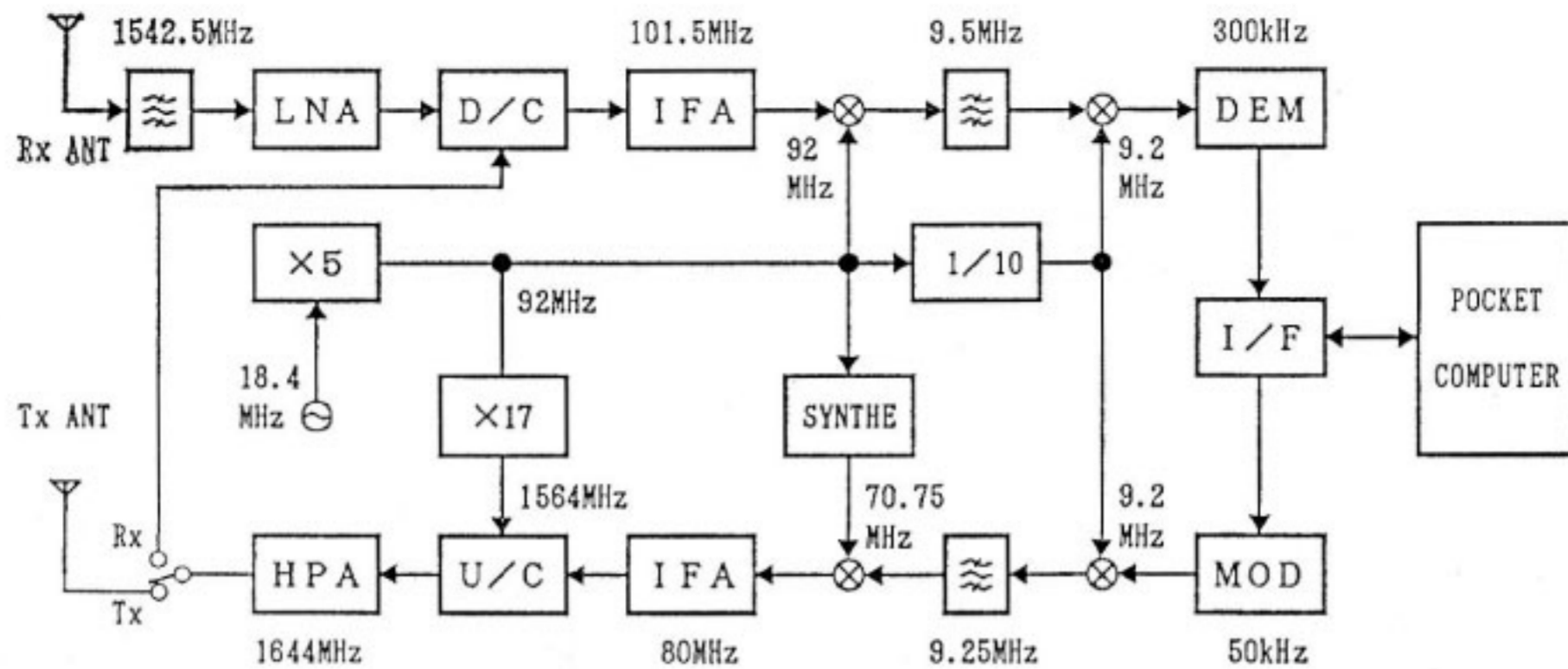
第4図 携帯局装置外観

とビットタイミング再生部(BTR)が独立に可変である。IDコードは携帯局の識別を行うために用いられ、携帯局ごとに個別のコードが割り当てられている。メッセージ長は最大40文字(320ビット)、8ビット単位で可変である。

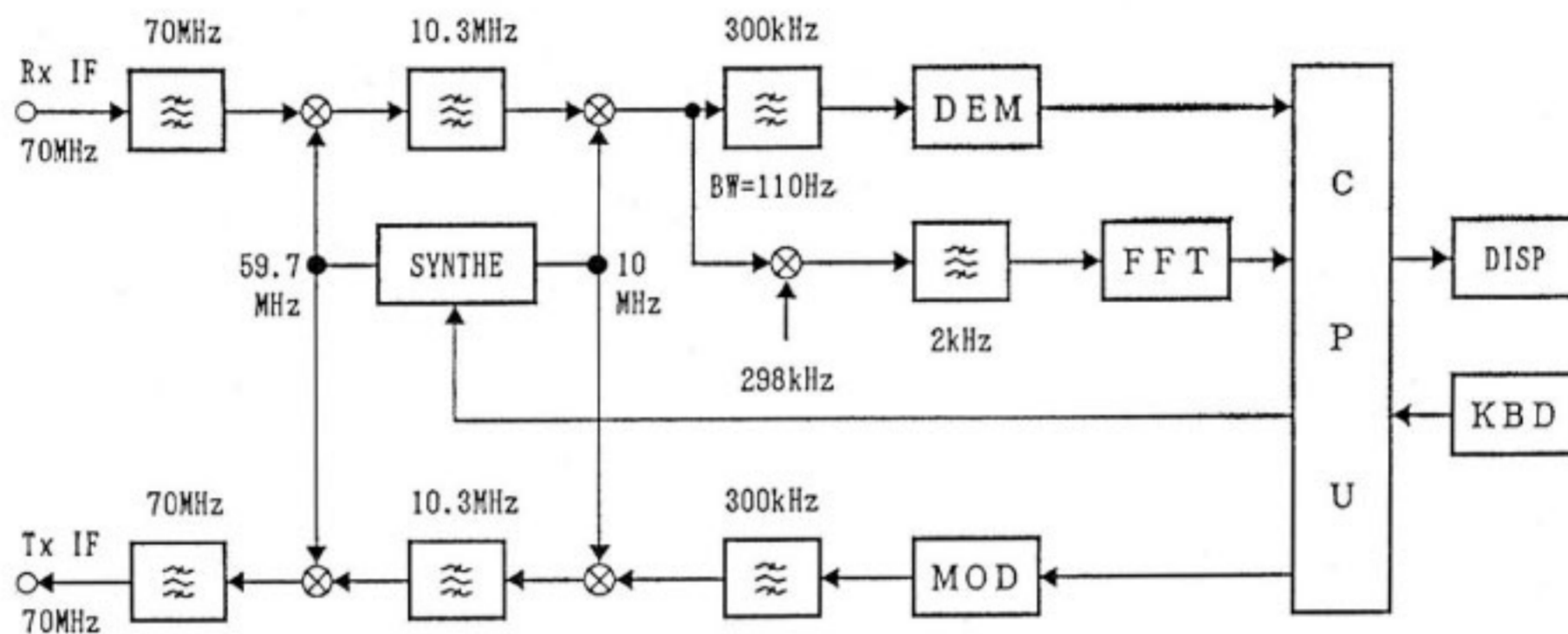
PREAMBLE		FRAME SYNC	ID CODE	MESSAGE
CW	BTR	16 bits	16 bits	8 x N bits(max 320 bits)

CW : Carrier Recovery 10 ~ 256 bits (variable)  
BTR: Bit Timing Recovery 10 ~ 256 bits (variable)

第3図 フレームフォーマット



第5図 携帯局の構成



第6図 固定局の構成

第2表 携帯局主要諸元

周波数	1644.7~1644.8 MHz (Tx) 1543.2~1543.3 MHz (Rx)
アンテナ	送受信分離パッチアンテナ×2 Gain Tx : 7.5 dBi, Rx : 7.0 dBi
偏波	左旋円偏波
追尾方式	手動
G/T	-17 dBK
EIRP	6.5 dBW (出力 : 1 W)
通信方式	デジタル FM 100 bps パケット形態
周波数安定度	10 <sup>-6</sup> 程度
重量	13 kg

本システムの伝送速度は 100 bps である。そのため位相雑音の影響を十分に検討した上で変復調方式にはデジタル FM (CPFSK) を採用し、変調指数を 0.7 とした<sup>(8)</sup>。復調部には周波数変動の影響を受けにくい PLL 復調器を用いている<sup>(3)(9)</sup>。

携帯局の周波数変動に対しては前述した方式で対処するが、FFT の精度を 8 Hz とすることにより帯域 110 Hz (BT=1.1) の受信用帯域制限フィルタに受信信号を引き込むことを可能としている。

### 3.3 携帯局装置構成

携帯局は第4図に示すようにアタッシュケース大の金属製ケースに収められており、蓋部に送信受信個別の2個の薄型パッチアンテナが取り付けられている。アンテナの半値幅は約90度であるため、高度な追尾精度は要求されず蓋部を開いて衛星方向に向けることで通信可能状態になる。携帯局の主要諸元を第2表、構成を第5図に示す。

本装置の大きな特徴は 18.4 MHz 基準発振器一つから全ての局発振周波数がつくられることである。チャンネル設定用のシンセサイザは送信部のみであり、送信キャリアが受信部ダウンコンバータの局発振器を兼ねている。このため送受信の周波数偏差は2.で述べたように常に一定の関係となる。

送受信データの入出力端末には市販のポケットコンピュータを用い、RS-232C インタフェースで本装置と接



続している。電源は小型の鉛シール蓄電池を用いており約40分間の連続使用が可能である。

### 3.4 固定局装置構成

固定局の構成を第6図に示す。固定局の入出力信号周波数は、基地局のIF周波数である70MHz帯としている。携帯局から送信された信号は基地局内でIF信号に変換された後、固定局受信部へ入力される。入力信号は固定局内部で周波数変換後、二つに分岐される。一方は110Hzの帯域制限フィルタ(BPF)へ、他方は2kHzに周波数変換されA/D変換後、FFT部に入力される。FFT部では受信プリアンプ中のCW部分で1024点の8kHzサンプリングによるFFT演算処理を行う。FFT処理結果より周波数スペクトラムのピークレベルを検出し、これが一定値以上となった場合、信号を受信したものと判断してその周波数をCPU部に送り、規定の周波数からの偏差を検出する。検出された周波数偏差に対応して受信部の基準発振器を制御することにより受信信号をBPFの帯域内に引き込むことができる。BPFを通過した信号は復調部へ入り、受信BTR部よりクロックを再生し、携帯局ID及びメッセージを再生する。

復調部では周波数変動の影響を受けにくいPLL復調器を用いている。尚FFTの周波数分解能は約8Hzであり十分な精度であると考えられるが、分解能誤差によるビット誤り率特性への影響は機器劣化量として考慮する。

また固定局の送信周波数は、FFT部で求められた受信周波数偏差から2.で述べた方法により計算された偏差が与えられる。

固定局の入出力端末にはパーソナルコンピュータを用い、受信メッセージ及び周波数補正值等の情報を表示し、またプリンタに出力することも可能である。

## 4. 実験結果

以下ETS-Vを用いて行った実験より得られたビット誤り率特性及びアクイジション特性について報告する。

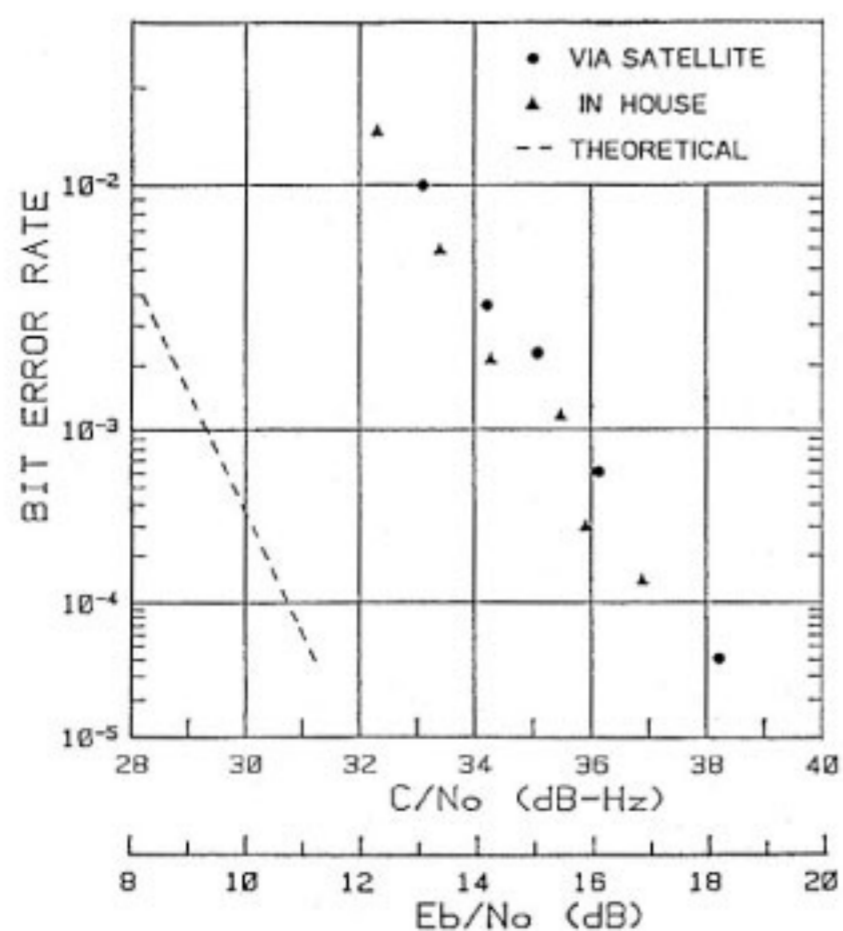
符号誤り率(BER)測定では通常のメッセージ通信時と違い、PN符号を連続的に伝送する。伝送速度が100bpsと極めて遅いため、例えば $10^{-5}$ のBERを測定するには最低 $10^3$ 秒もの時間を必要とする。このような長時間の測定を安定的に行なうためには携帯局の基準発振器の安定度は不十分である。そのため、BER測定に限り外部より高安定な信号を基準発振器出力信号に代えて使用した。なお、実際のメッセージ通信に要する時間は数秒であり周波数偏差補正を行った後にデータ再生が行われるため、基準信号と外部信号によるBER特性の差はないものと考えられる。

アクイジション特性については、固定局受信の成功が周波数偏差補正機能の正常な動作の証明であり、本システムにおいてメッセージ通信を可能とする必要条件であることから、リターンリンクについて実験を行った。また、この実験結果より携帯局送信メッセージが固定局で受信可能となるために必要な条件について検討を行った。

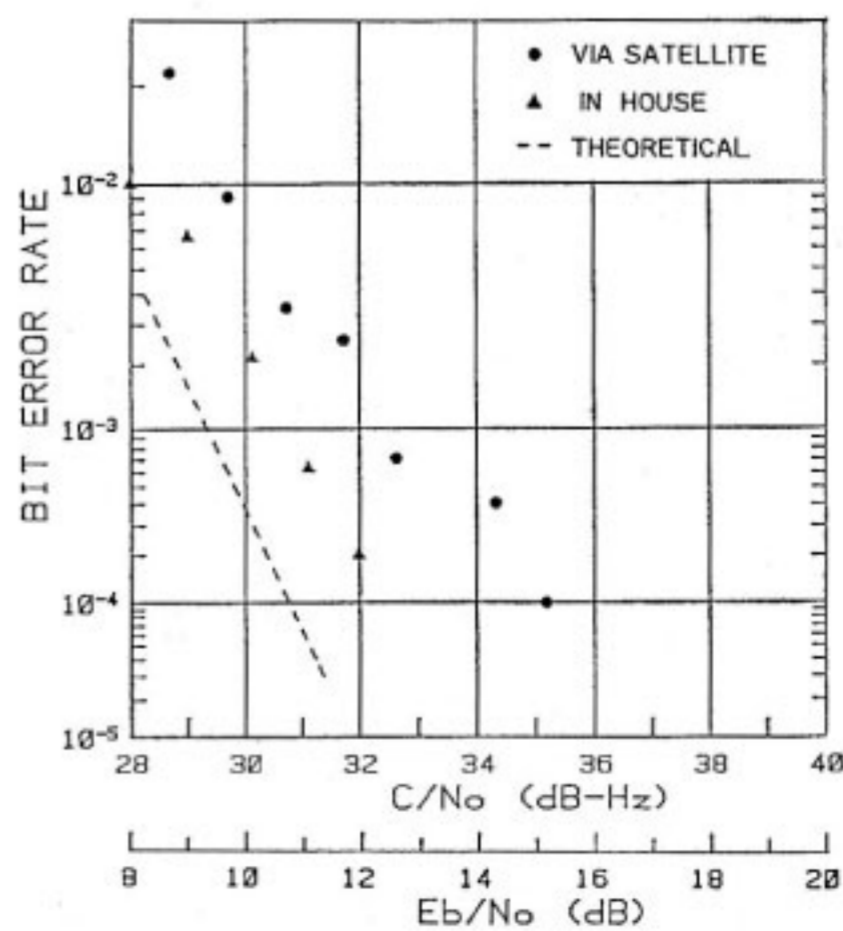
実験時は携帯局を基地局構内の衛星見通しの良好な場所に設置した。

### 4.1 ビット誤り率特性

本装置で採用した変調指数  $h=0.7$ ,  $BT=1.1$  にお

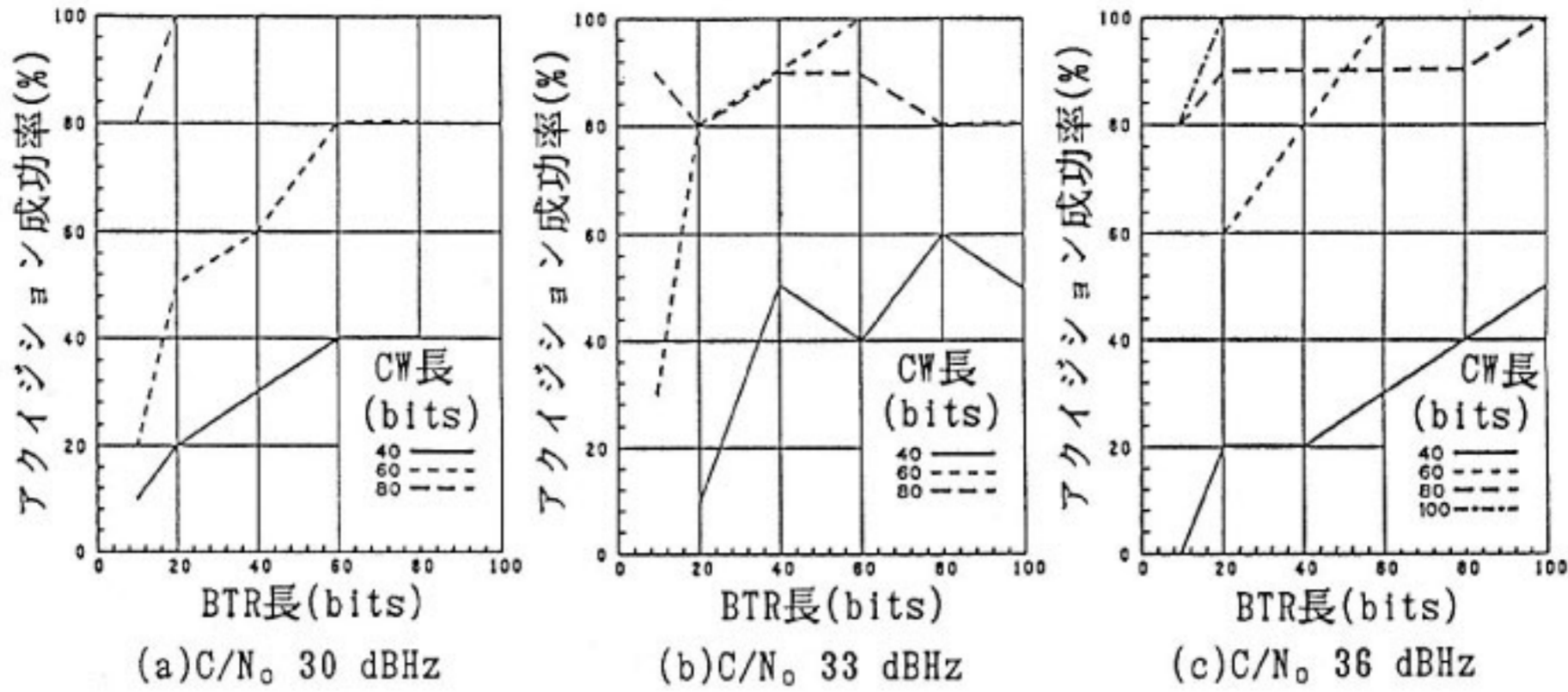


(a) フォワードリンク



(b) リターンリンク

第7図 BER特性



第8図 アクイジション特性

る狭帯域デジタル FM の所要  $E_b/N_0$  の理論値<sup>(10)</sup>は、 $BER=10^{-4}$  で 11 dB である。

第7図(a)はフォワードリンク (固定局→携帯局) における測定結果であり携帯局の受信  $C/N_0$  は基地局側の送信レベルを変えて測定した。装置折返しと衛星回線での測定値には差がないが理論値から約 6 dB の劣化となった。この原因は現在検討中であるが、測定に使用した定電圧電源・測定器の電源ハムなど周囲の影響を受けていることが確認されており、劣化の一因となっていると考えられる。

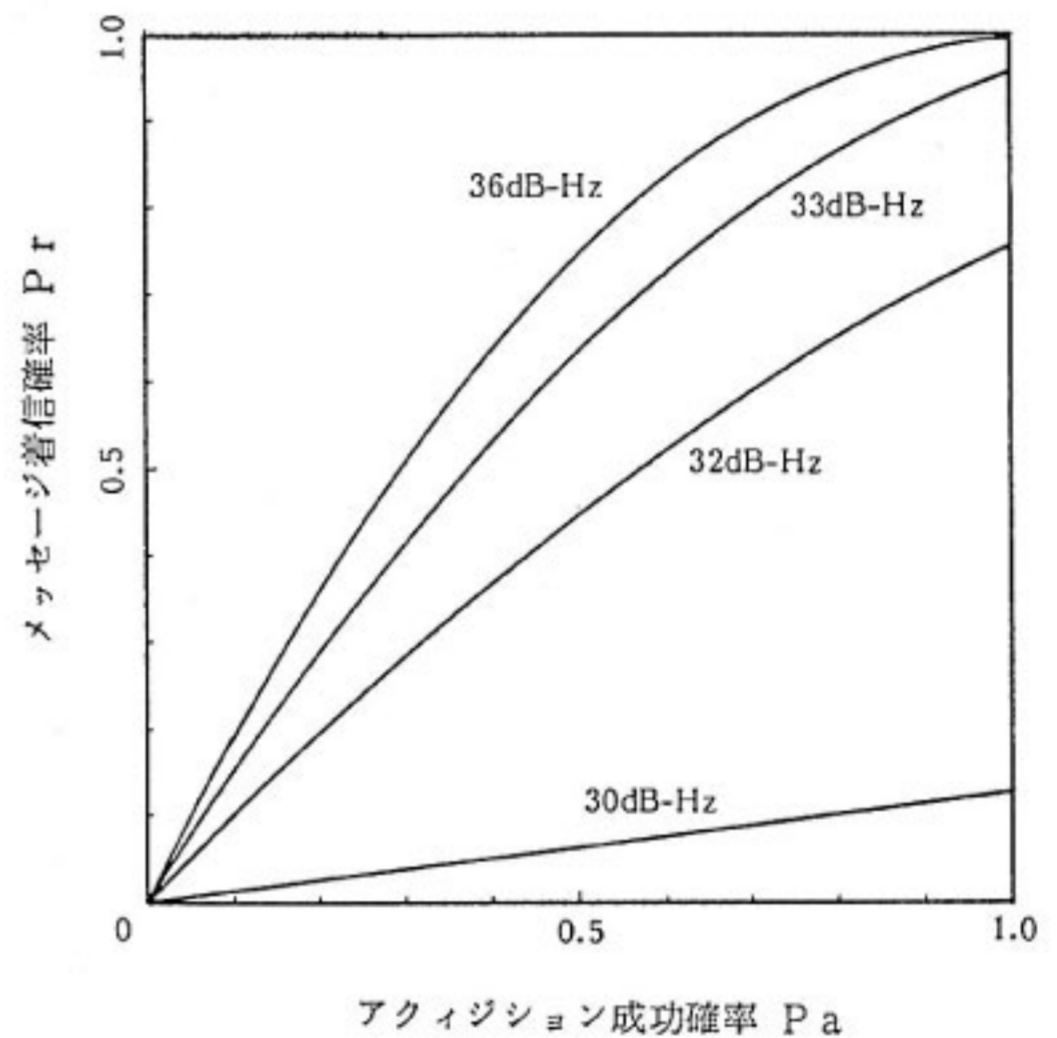
第7図(b)はリターンリンク (携帯局→固定局) における測定結果であり、固定局の受信  $C/N_0$  は受信系 IF にノイズを付加することで設定し測定した。理論値からの劣化は装置折返しが約 1.5 dB、衛星回線が約 4 dB となった。第1表の回線マージンから BER 特性で得られた劣化量を差し引いた値は、フォワードリンクで約 7 dB、リターンリンクで約 5.5 dB となるが、回線マージンとしては十分な値と言えよう。

4.2 アクイジション特性

携帯局送信バースト中のキャリア再生部 (CW) 長、ビットタイミング再生部 (BTR) 長、及び固定局受信  $C/N_0$  をパラメータとし、一組の条件下でバースト送信を10回試行し、受信成功率を測定した。固定局が誤字を含んだメッセージを再生してもアクイジション成功とみなしている。この結果を第8図に示す。受信  $C/N_0$  及び BTR 長に関係なく CW 長が短いと周波数偏差検出精度が不十分であるためアクイジション成功率は悪い。

ビット誤り率特性とアクイジション特性の結果から、携帯局側の再送信を一回許容したときのメッセージ着信確率、すなわち携帯局が送信したメッセージを固定局側で誤りなく受信再生する確率  $P_r$  を求める。

固定局でメッセージが正確に再生されるには、次の3



第9図 メッセージ着信確率

種類の場合が考えられる。

- ① 一回目のアクイジションが成功し、携帯局 ID コード及びメッセージ部が誤りなく再生される。
- ② 二回目で初めてアクイジションが成功し、携帯局 ID コード及びメッセージ部が誤りなく再生される。
- ③ 一回目のアクイジションが成功するが携帯局 ID コードまたはメッセージ部に誤りがあり、二回目で誤りなく再生される。

したがって、アクイジション成功率を  $P_a$ 、携帯局 ID コード及びメッセージ部が共に誤りなく再生される確率を  $P_b$  とする、 $P_r$  は次式で与えられる。

$$P_r = P_a P_b + (1 - P_a) P_a P_b + P_a (1 - P_b) P_a P_b \dots (1)$$

$P_b$  は、BER を  $P_B$  とすると、携帯局 ID コード長及びメッセージ長より次式のように求められる。



$$p_b = (1 - P_B)^{336} \quad \dots\dots(2)$$

(1)(2)式より  $P_r$  とアクイジション成功率  $P_a$  の関係は第9図のようになる。

$P_r=90\%$ と設定した場合、固定局の受信  $C/N_0$  が 33 dBHz (BER= $5 \times 10^{-4}$ ) の条件下で、携帯局送信プリアンプルを CW 長60ビット, BTR 長40ビットとすることでメッセージ伝送が可能である。

なお、フォワードリンクに関しては厳密な検討はしていないが、固定局送信周波数は携帯局の受信周波数に一致するよう制御されており、また回線マージンが十分であるため、固定局の送信プリアンプル長は携帯局送信時に比べ FFT 処理を必要としない分だけ短くすることが可能であると考えられる。

## 5. む す び

アタッシュケース大の携帯型地球局によるメッセージ衛星通信システムを研究開発するにあたり、移動体地球局の小型・簡易化に伴う周波数の不安定性、および送信電力の制限を克服するための低速伝送技術の開発に成功した。本システムは、携帯局の基準発振器を送受信共通とする簡単な構成をとり、低速伝送で問題となる周波数変動を FFT を用いて固定局側で検出・補正できることを示した。また、固定局の所要受信  $C/N_0$  は、再送1回、メッセージ着信確率90%という条件下で、33 dBHz であり、極めて低電力で通信可能であることを実証した。

なお、今後の課題として携帯局受信の際にみられた BER 特性劣化の原因追求及び FEC 等の導入を含めたハードウェアの検討、更にアロハ方式のスループットから多数の携帯局でシステムを運用する場合の収容局数等の条件について検討する必要がある。

## 謝 辞

実験を行うにあたり有益な御助言、御協力をいただいた大森第二宇宙通信研究室長及び室員各位に感謝致しま

す。また実験装置製作に御協力頂いたアンリツ株式会社の関係各位に感謝致します。

## 参 考 文 献

- (1) N. Teller, et al., "The standard C communication system", 4th International Conference on Satellite systems for Mobile Commu. and Navigation, London, October 1988.
- (2) 坂井, 駒形, 佐藤, 安田, "移動衛星メッセージ通信方式", 昭61信学通信全大, S9-4.
- (3) 長谷, 鈴木, 大森, "ETS-V を使った超低速メッセージ通信システムの検討", 昭61信学通信全大, S9-5.
- (4) 長谷, 鈴木, 大森, "EMSS 用携帯型メッセージ通信装置", 昭62信学総全大, 2341.
- (5) 中条, 手代木, 三浦, "双方向搜索救援衛星通信システム", 信学技報, SANE84-26, 1984.
- (6) W. Sandrin et al., "Aeronautical satellite data link study, COMSAT Technical Review, vol. 15, No. 1, 1985.
- (7) 井口, 門脇, 鈴木, "AFC システム", 電波季, 技術試験衛星 V 型を用いた移動体衛星通信システム (ETS-V/EMSS) 特集号, 34, SPECIAL ISSUE No. 6, pp. 133-139, 1988.
- (8) 鈴木, 磯部, 土屋, 藤枝, "通信衛星 (CS) を用いたデジタル FM 伝送実験", 電波季 31, 158, 1985.
- (9) 長谷, 鈴木, 井家上, "メッセージ通信用携帯地球局", 電波季 技術試験衛星 V 型を用いた移動体衛星通信システム (ETS-V/EMSS) 特集号, 34, SPECIAL ISSUE No. 6, pp. 209-214, 1988.
- (10) R. F. Pawula, "On the theory of error rates for narrowband digital FM", IEEE Trans. on Commun, vol. COM-29, No. 11, 1981.

