

8. 陸上移動地球局

8.1 メッセージ通信用携帯地球局

8.1.1 概要

本稿では、EMSS 実験システム上最も小型の地球局であるメッセージ通信用携帯地球局と、それに対向する海岸/航空地球局（以後「固定局」と呼ぶ）の端局装置について述べる。ここに述べる装置は、それ自体で一つの衛星通信システムと呼べるほど独立性の高いものであり、他の移動局との関連性は無い。そのため、まず、「メッセージ通信システム」（以後「システム」と呼ぶ）について述べ、その後、各ハードウェアについて説明する。

本システムは、一度に40文字程度までのメッセージを双方向で伝送できる超小型のデータ通信システムで、移動局はアタッシュケース大の、衛星通信装置としては極めて小型の装置を実現している。システムの主要諸元を第8.1-1表に示す。

本システムの設計で最も重視したのは、移動局ハードウェアの簡易・小型化であり、そのため、まず移動局の送信出力を1ワットに限定して設計を進めた。移動局のアンテナは、利得が低いものしか期待できないので、回線設計上、伝送速度を小さくせざるを得ず、100 bps とした。この場合の回線設計例を第8.1-2表及び第8.1-3表に示す。ただし、表中の所要 C/N_0 は、後述する変調方式を用いて $35 \text{ dB}\cdot\text{Hz}$ と見積った。このような超低速、超狭帯域の衛星通信では、衛星や地球局での周波数変動が相対的に極めて大きくなるので、周波数補正が必須となる。この周波数補正も、後述するように移動局のハードウェアを必要としない方法を採用し、移動局の簡易化をはかっている。また、アクセス方式も、発呼する移動局にとっては最も簡単な「アロハ」方式を採用している。この結果、移動局ハードウェアの規模を必要最限度にすることができた。しかし、今回開発した装置は、部品レベルでの軽量・小型化や実装方式には配慮していないので、今後、実用的な大きさ（ハンディトランシーバ程度の大きさ）とするために、コンポーネントごとの小型・軽量化や実装方法についても検討することを考えている。

8.1.2 周波数補正

移動局の周波数安定度は、高々 10^{-6} 程度しか期待できない。これは、送信周波数1.5 GHz に対して1.5 kHz

長谷良裕（鹿島支所 第二宇宙通信研究室）
鈴木龍太郎、井家上哲史（宇宙通信部 移動体通信研究室）

第8.1.1表 システムの主要諸元

周波数	1.6 GHz 帯 (移動局送信)/1.5 GHz 帯 (移動局受信)
アクセス方式	純アロハ
変調方式	デジタル FM (CPFSK) 100 bps
送受信周波数補正	固定局のみによる補正方式
移動局アンテナ	送受別パッチアンテナ, 送信利得 7.5 dBi, 受信利得 7.0 dBi
移動局 G/T	-19 dB/K
移動局 EIRP	7 dBW
移動局 寸法・重量	400×350×135 mm, 12.5 kg

第8.1-2表 回線設計例 (C/L 回線)

衛 星	送信周波数	1542.5 MHz
	送信機出力	0.0 dBW (HPA 出力端)
	回路損失	3.9 dB
	送信アンテナ利得	24.0 dBi (鹿島方向)
	送信 EIRP	20.1 dBW
伝搬損失		187.7 dB (鹿島方向)
移 動 局	追尾誤差	0.5 dB
	受信アンテナ利得	7.0 dBi
	回路損失	0.5 dB
	受信電力	-161.6 dBW (LNA 入力端)
	受信雑音電力密度	-205.0 dBW/Hz (LNA 入力端)
総合 C/N_0		43.4 dB·Hz
所要 C/N_0		35.0 dB·Hz
マージン		8.4 dB

注：フィードバックの C/N_0 寄与分は無視できるとした。

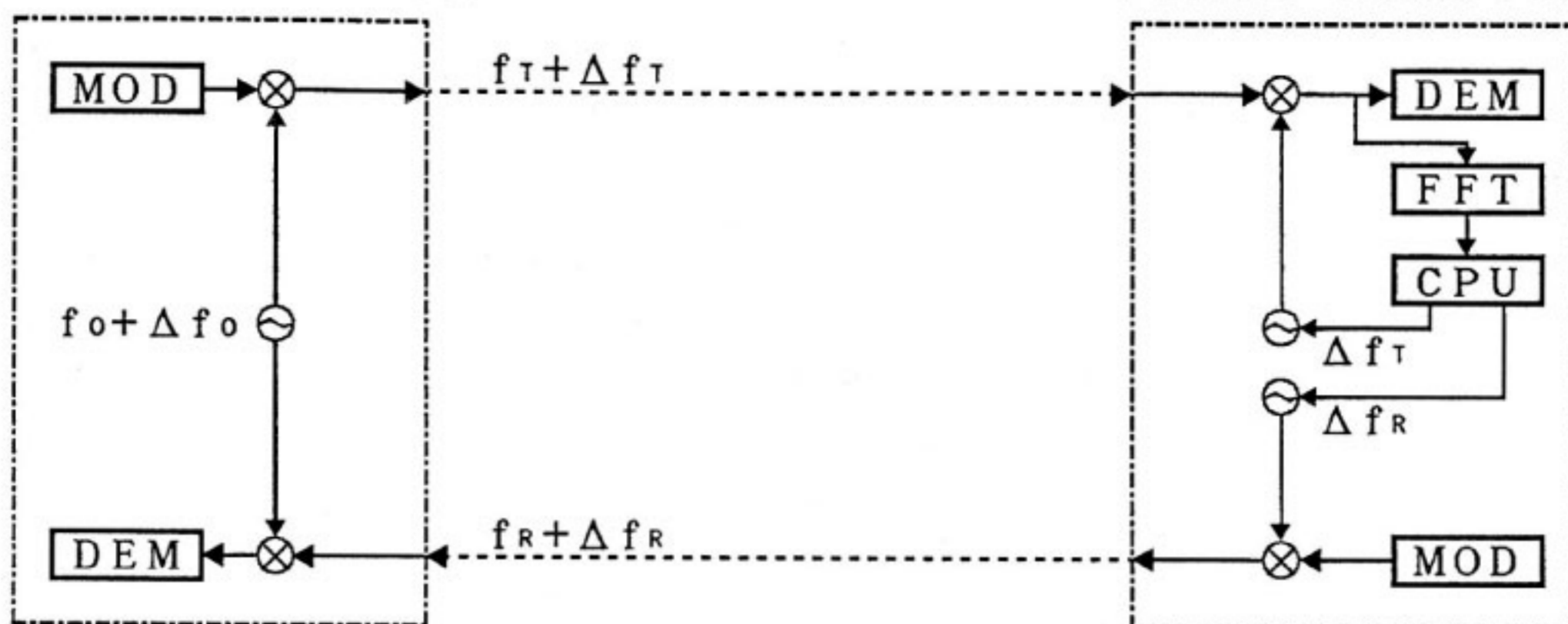
第8.1-3表 回線設計例 (L/C 回線)

移 動 局	送信周波数	1644.0 MHz
	送信機出力	0.0 dBW (PA 出力端)
	回路損失	0.5 dB
	送信アンテナ利得	7.5 dBi
	送信 EIRP	7.0 dBW
追尾誤差		0.5 dB
伝搬損失		188.3 dB (鹿島方向)
衛 星	受信アンテナ利得	24.5 dBi (鹿島方向)
	回路損失	3.1 dB
	受信電力	-160.4 dB (LNA 入力端)
	受信雑音電力密度	-202.7 dBW/Hz (LNA 入力端)
	総合 C/N_0	
所要 C/N_0		35.0 dB·Hz
マージン		7.3 dB

注：フィードバックの C/N_0 寄与分は無視できるとした。

MOBILE STATION

FIXED STATION



第8.1-1図 周波数補正の原理

もの周波数偏移が起りうることを示している。一方、伝送速度が 100 bps なので、受信機の帯域制限フィルタの帯域幅は $BT=1$ として 100 Hz であり、この帯域内に信号を入れるためには AFC 又は周波数サーチ等の方法が必要である。本システムでは、移動局ハードウェアの増加を避けるため、移動局の送信、受信共に固定局側で周波数サーチして補正する方法を採用している。その原理を説明するため、システムの簡単化したモデルを第 8.1-1 図に示す。この図では簡単化するため、衛星での周波数変換を無視している。このシステムでの最大のポイントは、移動局の送信部と受信部が共通のローカル発振器を使用していることである。今、移動局の公称送信周波数を f_T 、受信公称周波数を f_R 、送信周波数のずれを Δf_T 、受信周波数のずれを Δf_R と表すこととする。実際の送信周波数 $f_T + \Delta f_T$ と実際の受信周波数 $f_R + \Delta f_R$ の関係は、同一の発振器から作り出しているため常に一定である。周波数補正の手順は次のようになる。

- (1) 固定局受信機で高速フーリエ変換 (FFT) により Δf_T を検出する。
- (2) Δf_T から Δf_R を計算する。
- (3) 固定局送信機の送信周波数を規定値から Δf_R だけずらせて送信する。

この方法により、移動局側では何の操作もせずに受信フィルタの中央で信号が受信できることになる。第 8.1-1 図では、衛星での周波数変換等に伴う周波数のずれは無視されているが、実際のシステムでは、4. に述べているように衛星及び海岸/航空地球局 RF 系での周波数偏移は、送信 AFC 及び受信 AFC により完全に補正されており、Lバンドの周波数は非常に正確であるので、上記の手順で良いことがわかる。移動局の基準発振器の公称周波数を f 、そのずれを Δf とすると、送信周

波数及び受信周波数は、それぞれ

$$f_T + \Delta f_T = p(f + \Delta f) \quad \dots\dots(1)$$

$$f_R + \Delta f_R = q(f + \Delta f) \quad \dots\dots(2)$$

となる。ただし、ここで p 及び q は定数である。この 2 式から次式を得る。

$$\Delta f_R = \frac{q}{p} \Delta f_T \quad \dots\dots(3)$$

ここで p 及び q はあらかじめ定まった数であるので Δf_R は、固定局で検出した Δf_T の値から簡単に定まる。 Δf_T の検出に FFT を使うのは、通常の周波数サーチよりも短時間で検出できるためであり、その分送信バースト中のプリアンプルを短くすることができる。

8.1.3 通信方式

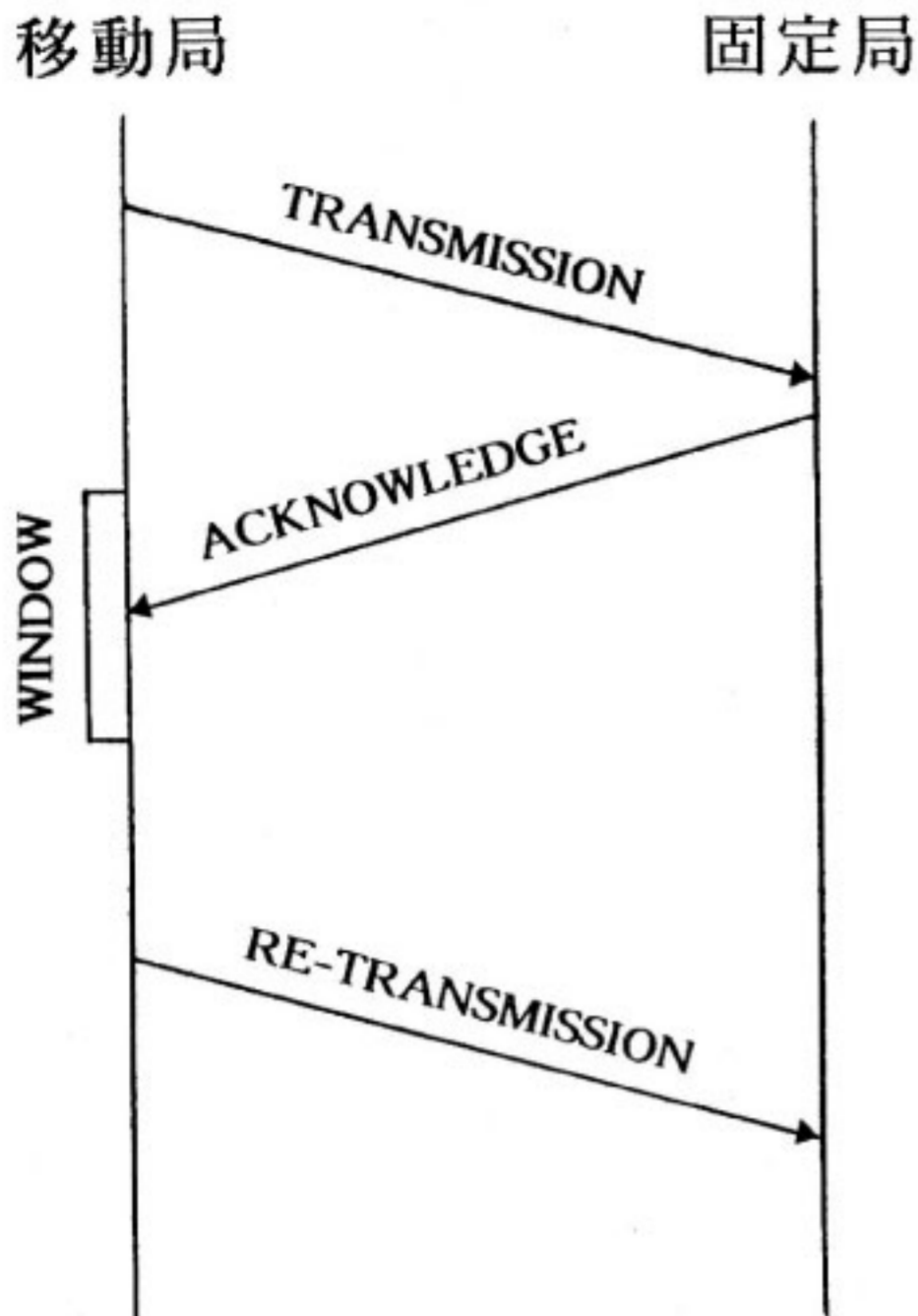
まず、アクセス方式には、移動局側に余分なハードウェアの必要がないアロハ方式 (ランダムアクセス) を採用した。純アロハの場合、回線のスループットは約 0.17 となる。今回製作した装置は 1 台だけなので収容能力の点は問題にならないが、純アロハのスループットの低さを考慮して周波数を 5 kHz 間隔で 20 ch のうちから選択できるようにしている。

発呼は、移動局からのみ可能である。送信はバースト状に行われ、そのフレームフォーマットは第 8.1-2 図に示すとおりである。このフォーマットは固定局送信時も全く同じ (ただし、プリアンプル長は独立に可変でき

PREAMBLE		FRAME SYNC	ID-CODE	MESSAGE
CW	BTR	16 bits	16 bits	$8 \times n$ bits (max 320bits)

CW : Carrier Recovery 10~256 bits 可変
BTR: Bit Timing Recovery 10~256 bits 可変

第8.1-2図 フレームフォーマット



第8.1-3図 通信手順

る)で、プリアンプの長さは、実験のためキャリア再生用ビット及びビットタイミング再生用ビット共に独立に可変できる。メッセージ長は、実際に送る文字数に応じて可変であり、8ビットの定数倍となる。なお、発呼が固定局側からできないのは、移動局に周波数サーチの機能がないこと及び移動時には通常アンテナは衛星の方向を向いていないこと等の理由による。

移動局からの送信バーストは、固定局で受信されれば、即座にアクイジションを知らせるために移動局向けのバーストが固定局から送信される。この中には、移動局向けのメッセージ(あらかじめ蓄積されていたもの)が含まれる。移動局は送信から一定時間のウィンドウ内にアクイジションバーストが返ってきた場合は、送信成功とみなし、ウィンドウ内に返答が無かった場合には、一定の時間(可変)をおいた後再送する。この手順を第8.1-3図に示す。

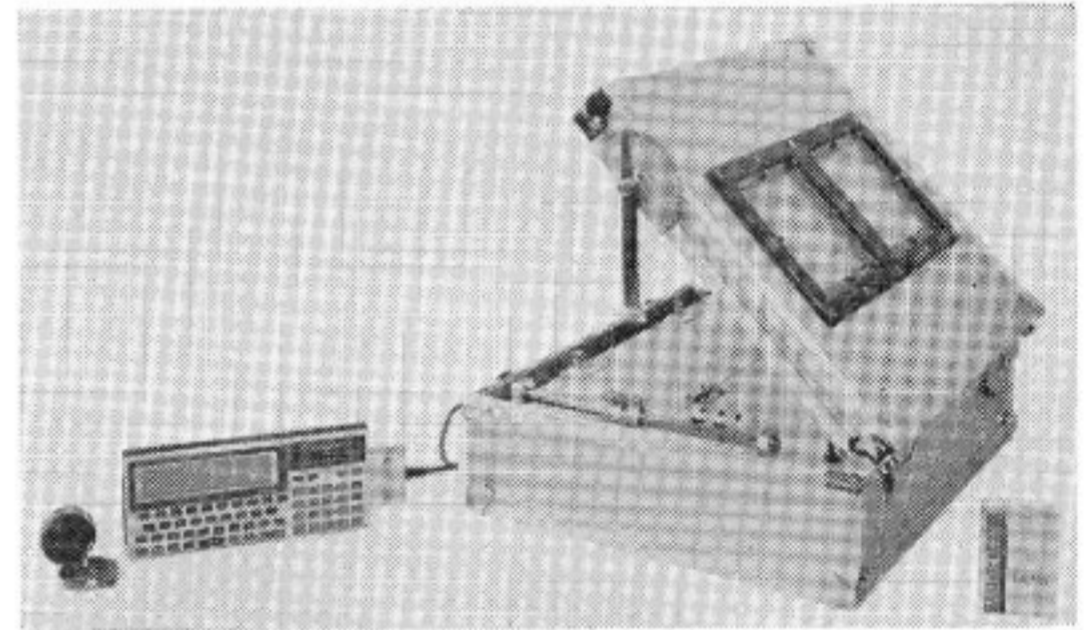
次に変復調方式であるが、本システムのような超低速伝送では、位相雑音の影響を十分考慮に入れる必要がある。衛星通信では何度も周波数変換されるので、そのたびに各局部発振器からの位相雑音を加算される。したがって、位相雑音に強い変復調方式を採用する必要がある。また、移動局では、小型化のために送信最終段にはC級のトランジスタアンプが使用されるので、送信波形が定包絡線となる変調方式が望ましい。以上の点を考慮すると、位相雑音に弱い同期検波による復調や定包絡線

でないPSK変調方式は適していない。また、回路の安定性や経済性も考慮して、変調方式にはデジタルFM(CPFSSK)を採用した。デジタルFMは、通常のアナログFM変調器に帯域制限したデジタル信号を入力するもので、既製のIC等が流用でき、回路の安定性も極めて高い。復調器には、PLL復調器が用いられる。

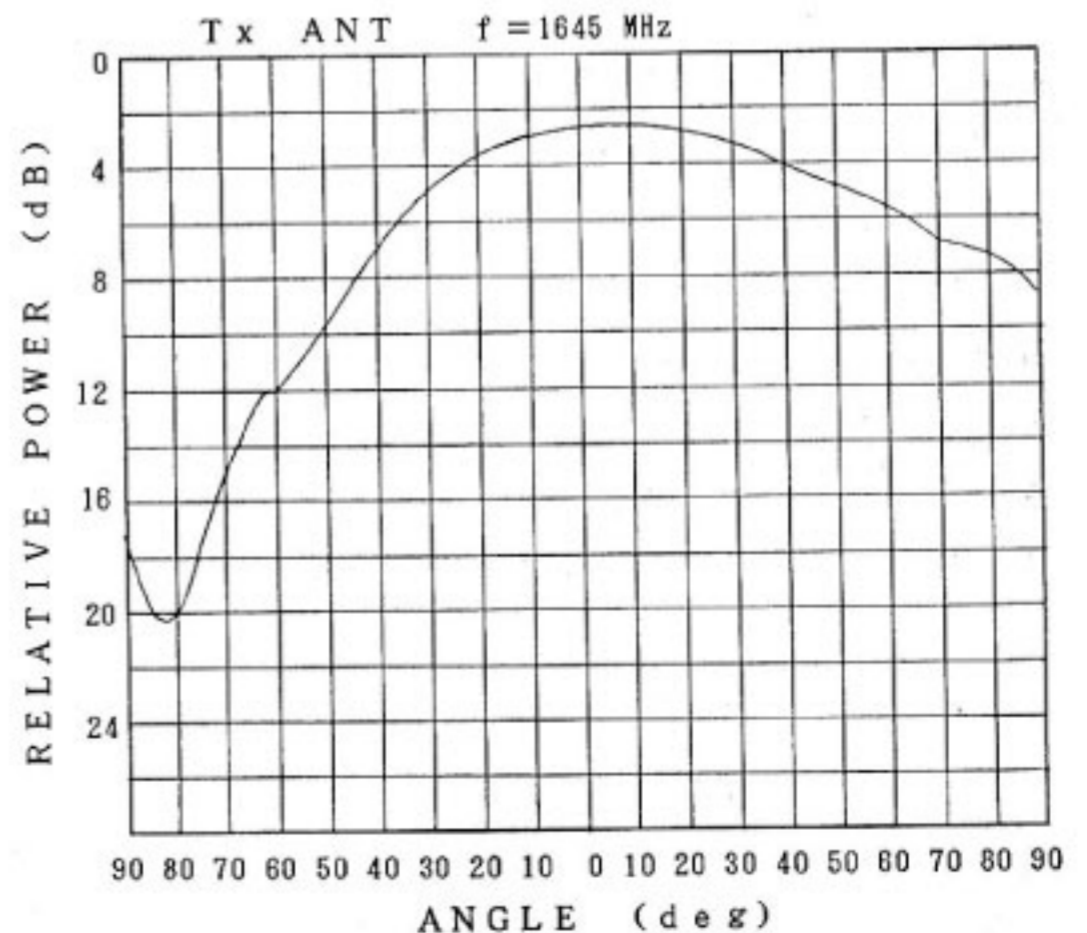
8.1.4 移動局

移動局は、アタッシュケース大の金属製ケースに収められており、ふたの表面をくり抜いて薄型のパッチアンテナが外向きに取り付けられている。その外観を第8.1-4図に示す。ふたの開閉角度は自由な位置で固定できるようになっており、通信をするときには、ふたを開けて衛星の方向を向けて固定する。第8.1-4図に見るように、アンテナは2個あり、送受別となっている。これは、狭帯域のパッチアンテナを送受それぞれの周波数に合わせることでアンテナ利得を高くとれること、ふたに取付けるタイプのため、複数個でも容積の増加が無いこと等の利点があることによる。

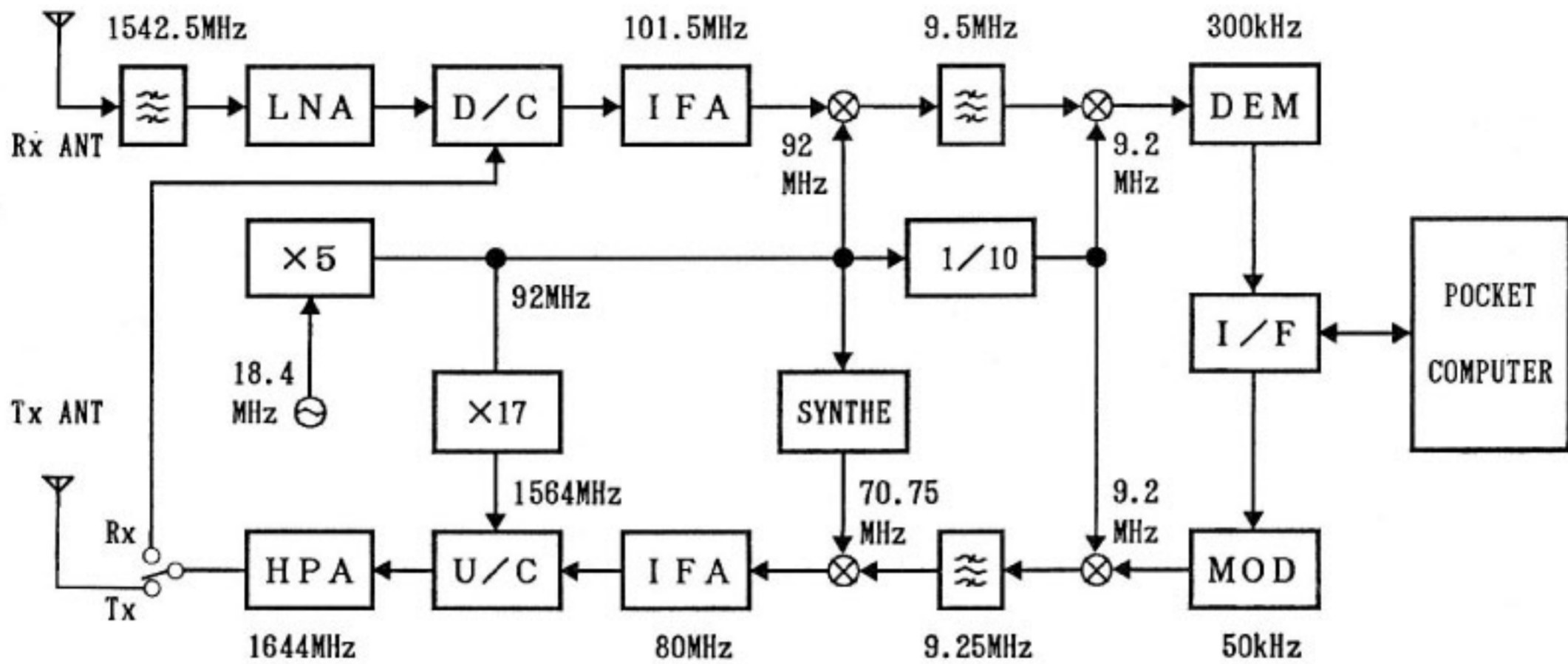
アンテナは1点給電のパッチアンテナで、利得は送信用が7dBi、受信用が7.5dBiである。送信用と受信用



第8.1-4図 移動局外観



第8.1-5図 移動局アンテナパターン



第 8.1-6 図 移動局ブロック

は中心周波数が異なるだけで、他の特性はほぼ同一である。送信アンテナの放射パターンを第 8.1-5 図に示す。この図から半値幅は約 90° であるので、衛星へ向ける操作は正確さを要しない。アンテナの基板には比誘電率 2.6 のガラスクロスステフロン基板を使っている。

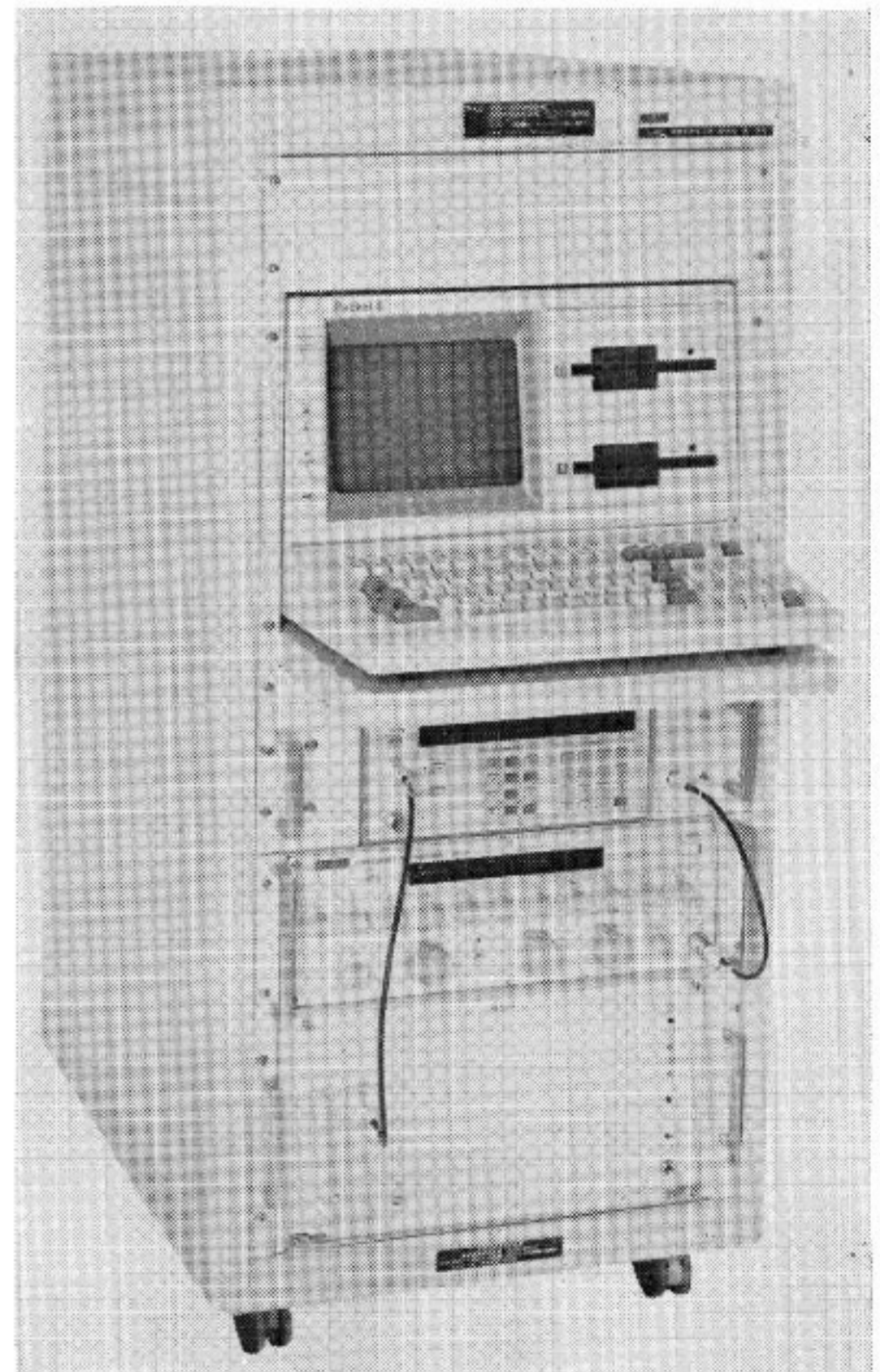
移動局全体のブロック図を第 8.1-6 図に示す。一見複雑なようであるが、ハードウェアの量を極力減らすように考えられている。移動局の主要諸元を第 8.1-2 表に示す。基準発振器の周波数は 18.4 MHz で、すべての局部発振周波数はこの基準発振器から作られる。送信部は受信時には受信部の局部発振器として動作する設計となっており、部品点数を減らしている。送信部変調器は 50 kHz の周波数で出力され、3 回周波数変換して L バンドパワーアンプ (L-PA) に入る。L-PA は C 級トランジスタアンプで、出力は約 1 W が得られる。また、受信信号は BPF, LNA を通った後、3 回周波数変換されて帯域幅 110 Hz の BPF と AGC アンプを通った後、更に 50 kHz に周波数変換されて復調器に入る。送信部が受信部の局部発振器を兼ねる構成となっているため、チャンネルに選択のシンセサイザは送信部のみにしか無い。

実際の送信データの入力や受信データ表示は、市販の「ポケットコンピュータ」を流用しており、本装置との間のインタフェースは RS-232C 規格のシリアル転送である。電源は小型の鉛シール蓄電池を用いており、電源を入れたままの状態でも連続 40 分程度の動作が可能である。

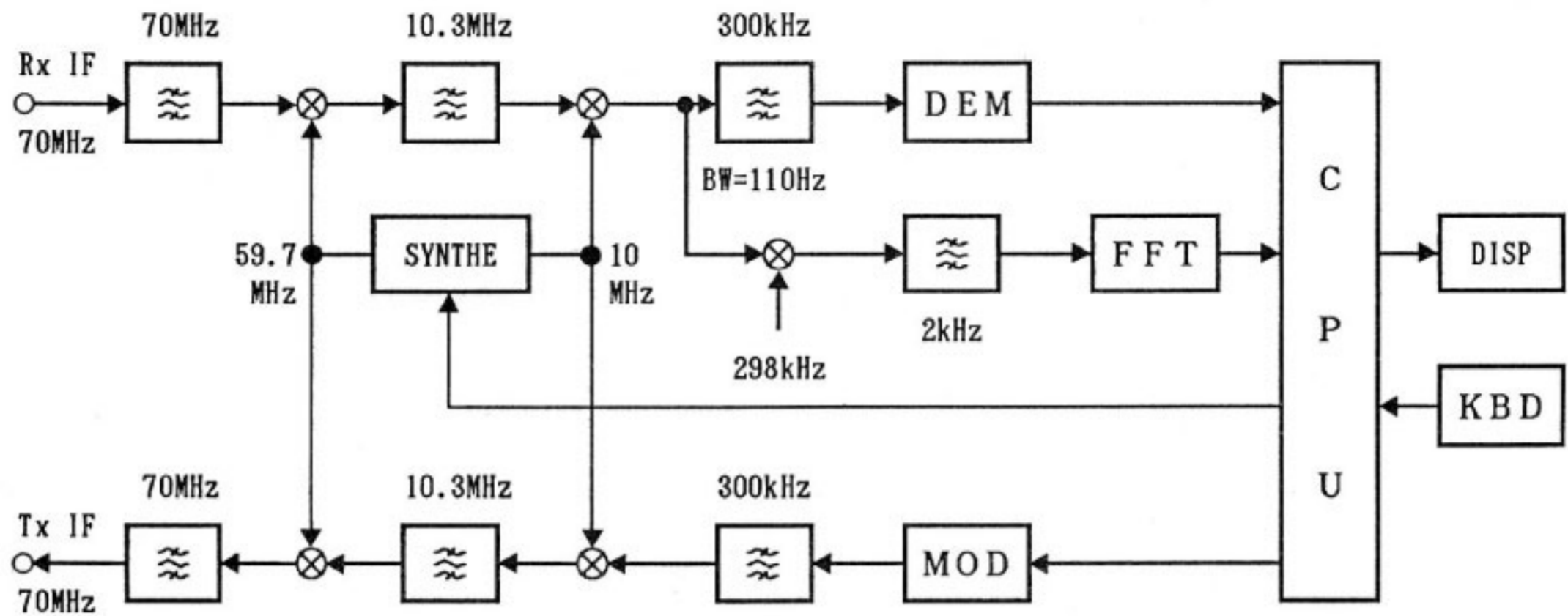
8.1.5 固定局端局部

固定局端局部は海岸/航空地球局の端局装置の一部であるが、機械的にも機能的にも独立しているので、ここで説明する。固定局端局部は送受信の共通局部発振器として市販のシンセサイズド SG (アンリツ MG545A) を

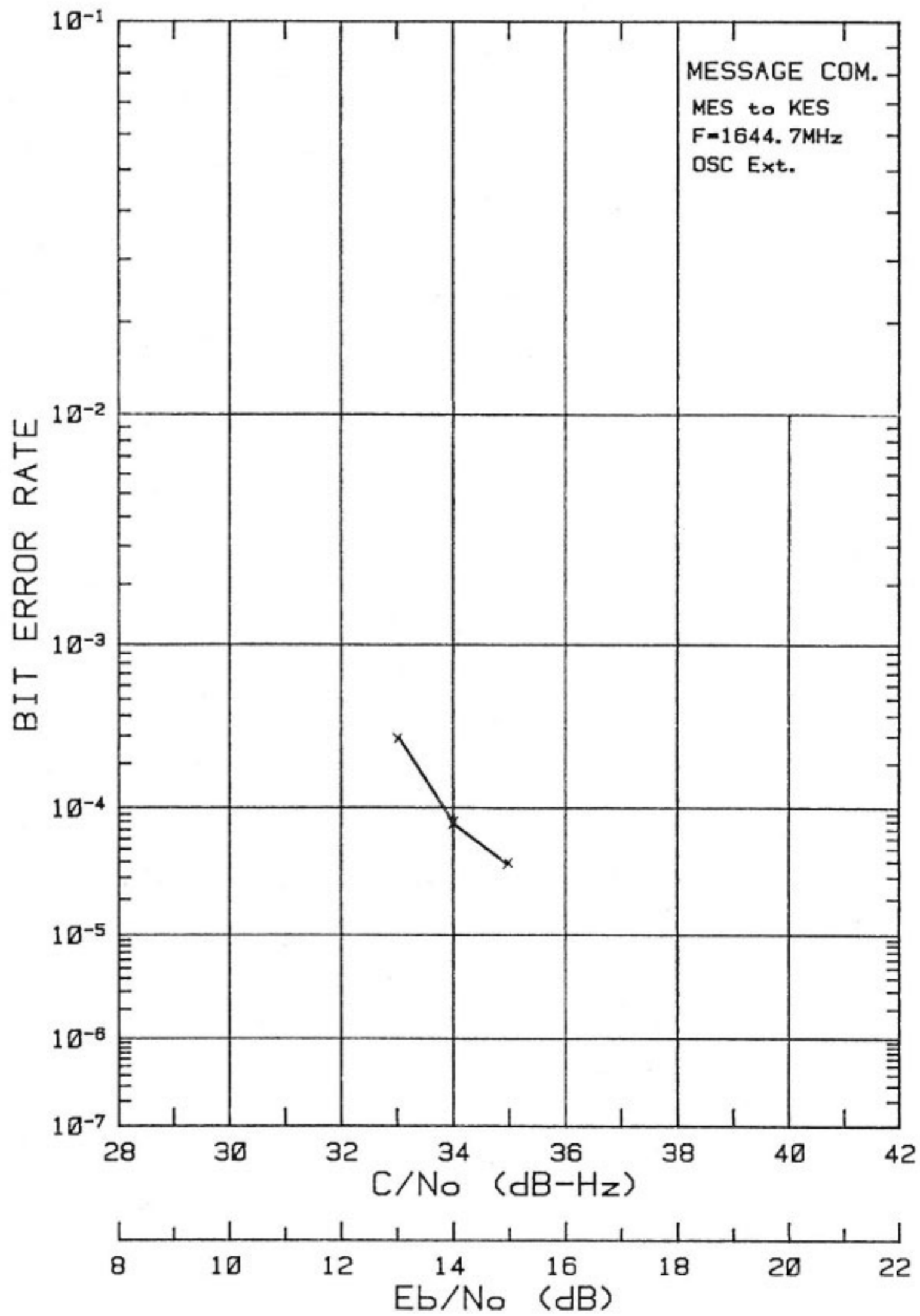
用いており、また、送信データの入力及び受信データの表示とシンセサイズド SG の制御のためにパーソナルコンピュータ (アンリツ製ポケット III) を使用している。そして、全体は移動可能のラックに組込まれている。外觀を第 8.1-7 図に示す。



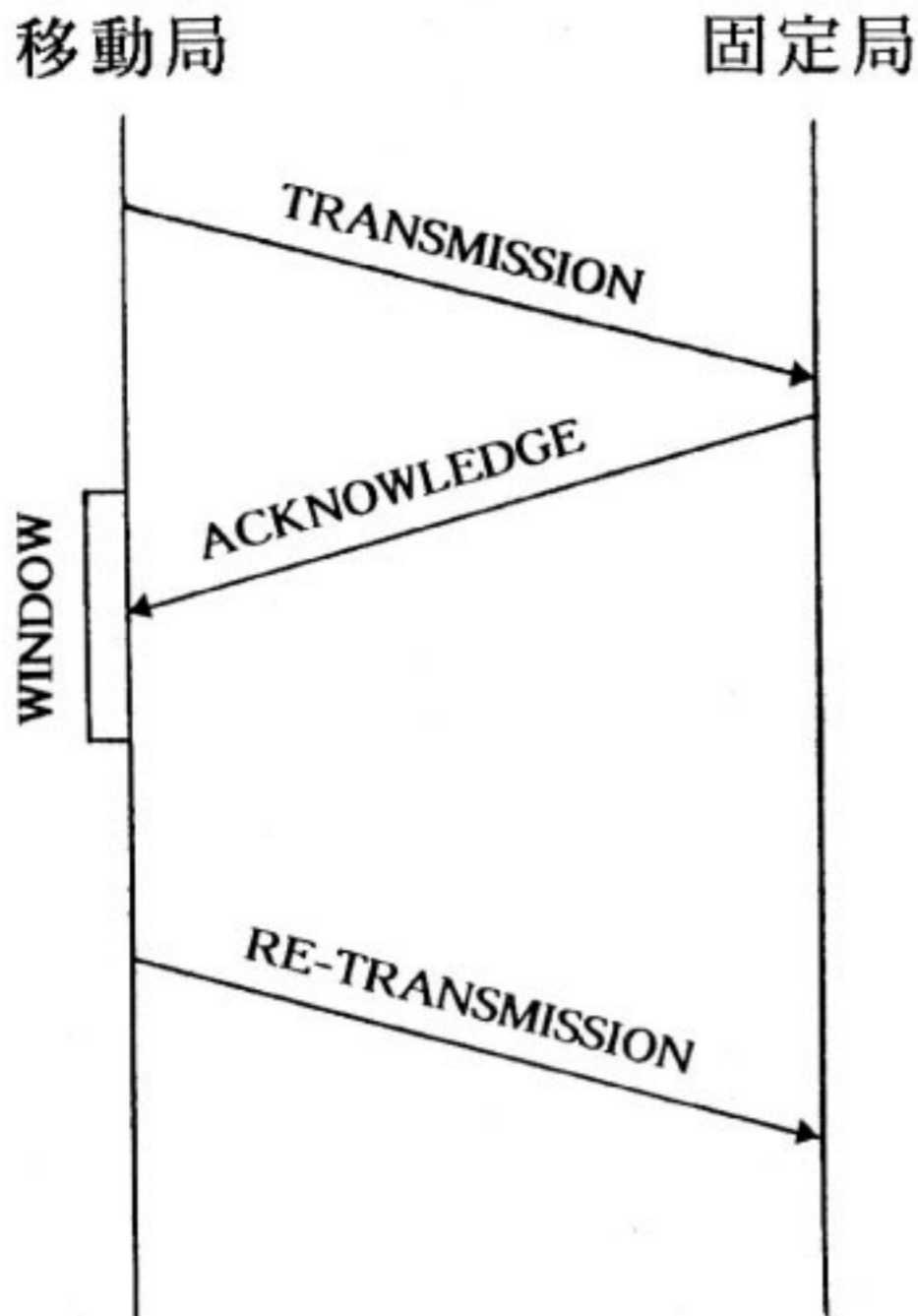
第 8.1-7 図 固定局端局部外觀



第8.1-8図 固定局端局部ブロック図



第8.1-9図 ビット誤り率特性



第8.1-3図 通信手順

る)で、プリアンプの長さは、実験のためキャリア再生用ビット及びビットタイミング再生用ビット共に独立に可変できる。メッセージ長は、実際に送る文字数に応じて可変であり、8ビットの定数倍となる。なお、発呼が固定局側からできないのは、移動局に周波数サーチの機能がないこと及び移動時には通常アンテナは衛星の方向を向いていないこと等の理由による。

移動局からの送信バーストは、固定局で受信されれば、即座にアクイジションを知らせるために移動局向けのバーストが固定局から送信される。この中には、移動局向けのメッセージ(あらかじめ蓄積されていたもの)が含まれる。移動局は送信から一定時間のウィンドウ内にアクイジションバーストが返ってきた場合は、送信成功とみなし、ウィンドウ内に返答が無かった場合には、一定の時間(可変)をおいた後再送する。この手順を第8.1-3図に示す。

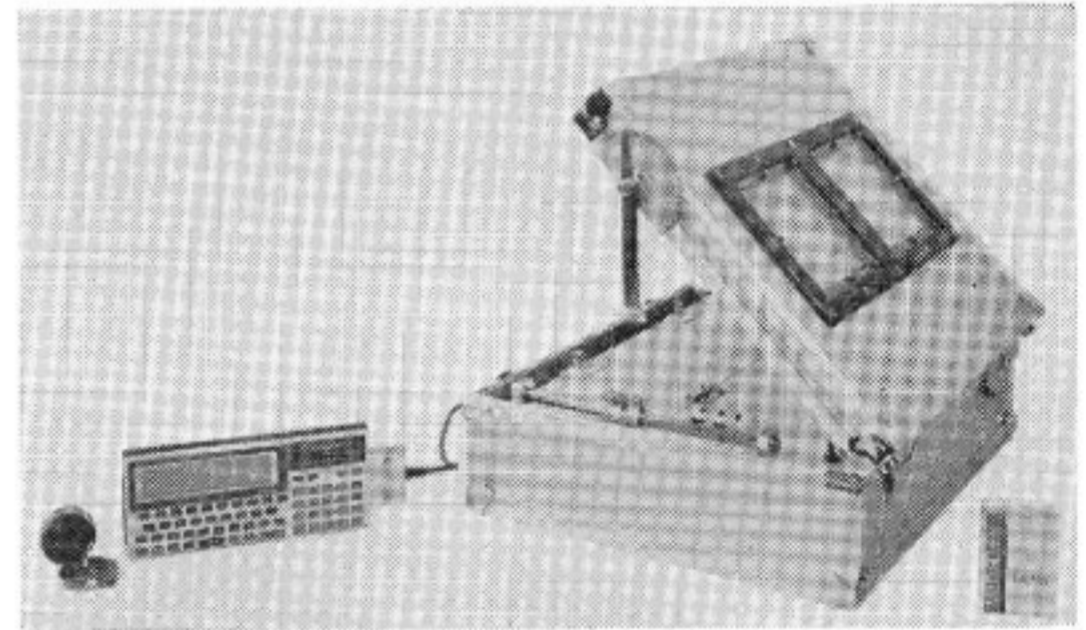
次に変復調方式であるが、本システムのような超低速伝送では、位相雑音の影響を十分考慮に入れる必要がある。衛星通信では何度も周波数変換されるので、そのたびに各局部発振器からの位相雑音が加算される。したがって、位相雑音に強い変復調方式を採用する必要がある。また、移動局では、小型化のために送信最終段にはC級のトランジスタアンプが使用されるので、送信波形が定包絡線となる変調方式が望ましい。以上の点を考慮すると、位相雑音に弱い同期検波による復調や定包絡線

でないPSK変調方式は適していない。また、回路の安定性や経済性も考慮して、変調方式にはデジタルFM(CPFSK)を採用した。デジタルFMは、通常のアナログFM変調器に帯域制限したデジタル信号を入力するもので、既製のIC等が流用でき、回路の安定性も極めて高い。復調器には、PLL復調器が用いられる。

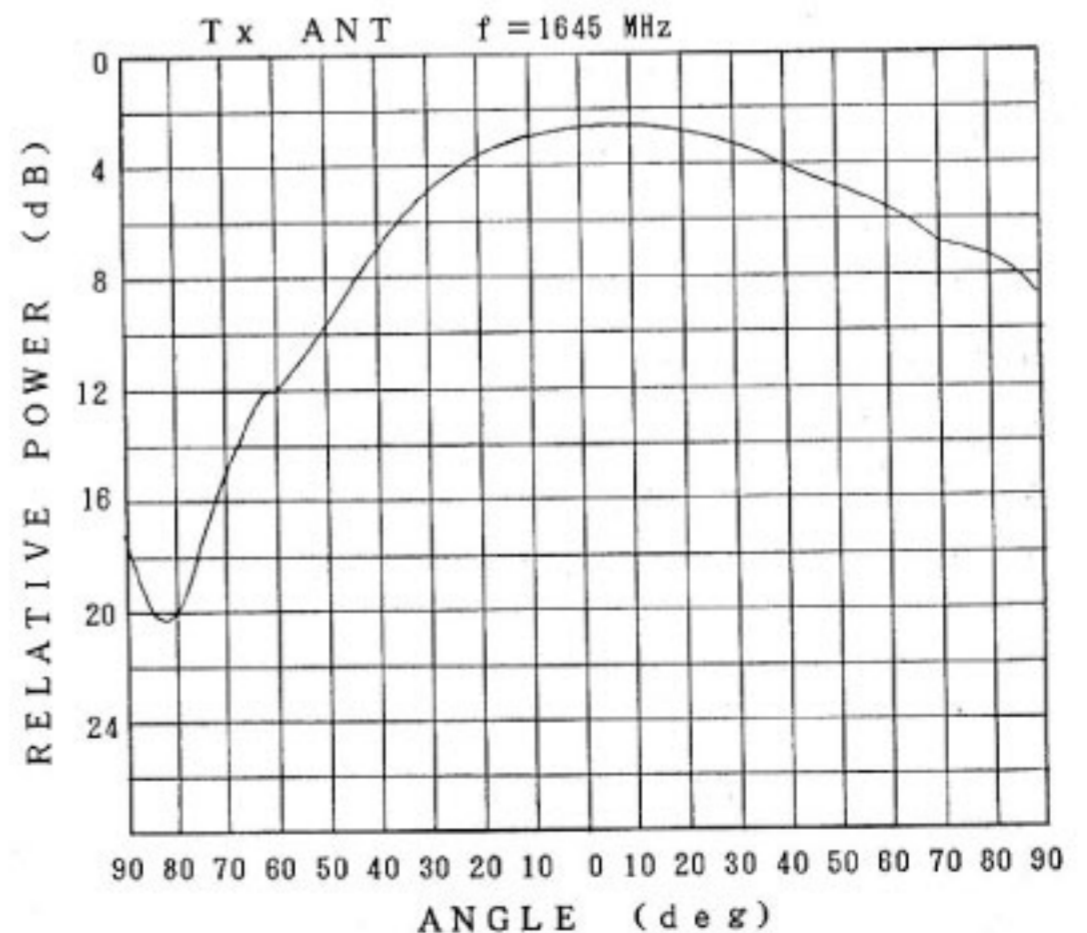
8.1.4 移動局

移動局は、アタッシュケース大の金属製ケースに収められており、ふたの表面をくり抜いて薄型のパッチアンテナが外向きに取り付けられている。その外観を第8.1-4図に示す。ふたの開閉角度は自由な位置で固定できるようになっており、通信をするときには、ふたを開けて衛星の方向を向けて固定する。第8.1-4図に見るように、アンテナは2個あり、送受別となっている。これは、狭帯域のパッチアンテナを送受それぞれの周波数に合わせることでアンテナ利得を高くとれること、ふたに取付けるタイプのため、複数個でも容積の増加が無いこと等の利点があることによる。

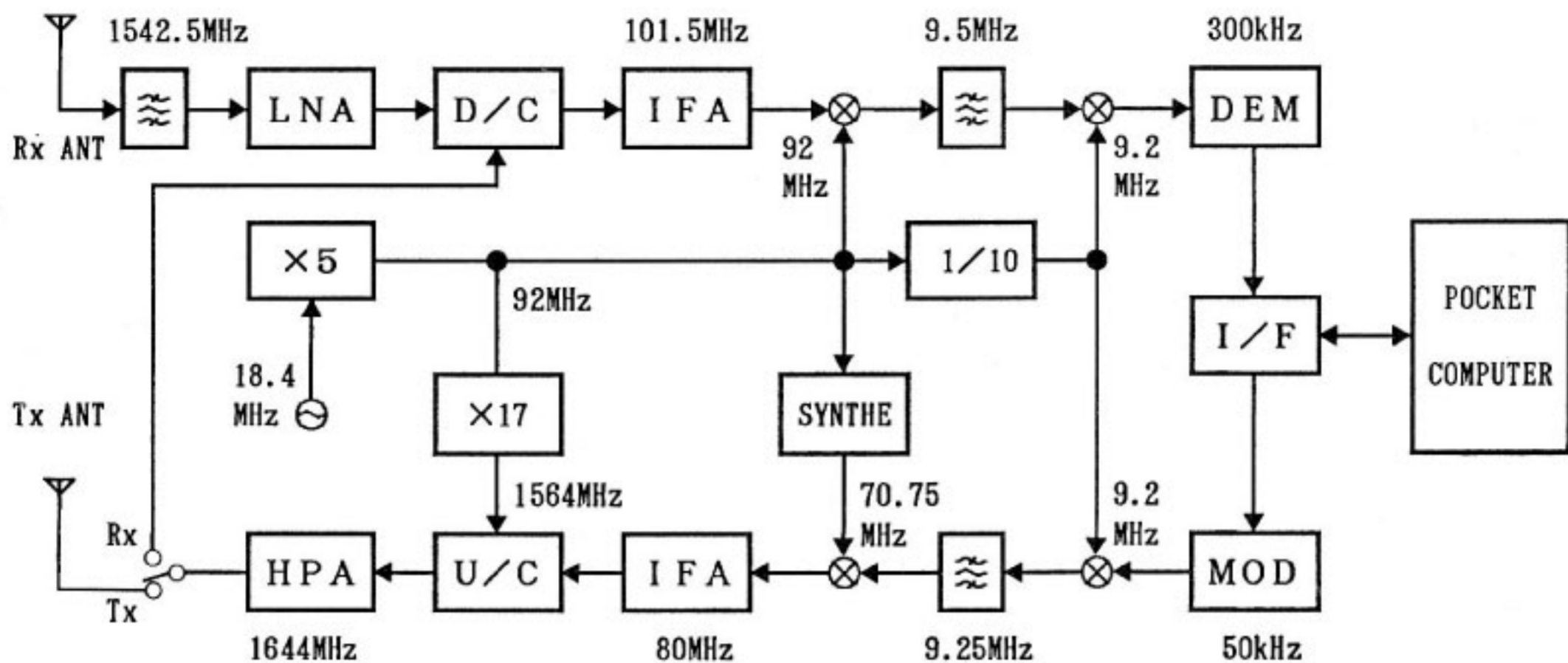
アンテナは1点給電のパッチアンテナで、利得は送信用が7dBi、受信用が7.5dBiである。送信用と受信用



第8.1-4図 移動局外観



第8.1-5図 移動局アンテナパターン



第8.1-6図 移動局ブロック

は中心周波数が異なるだけで、他の特性はほぼ同一である。送信アンテナの放射パターンを第8.1-5図に示す。この図から半値幅は約 90° であるので、衛星へ向ける操作は正確さを要しない。アンテナの基板には比誘電率2.6のガラスクロスステフロン基板を使っている。

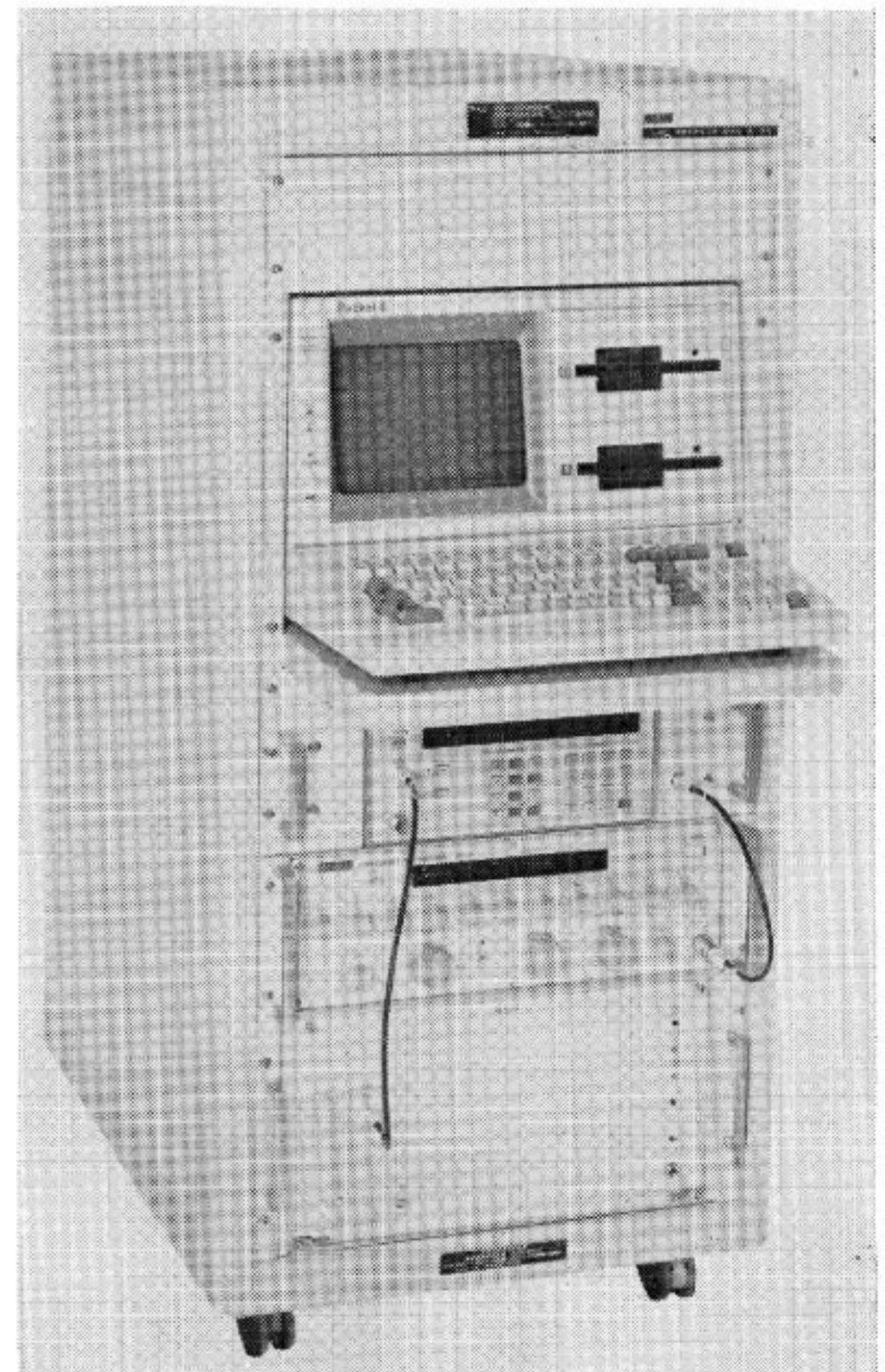
移動局全体のブロック図を第8.1-6図に示す。一見複雑なようであるが、ハードウェアの量を極力減らすように考えられている。移動局の主要諸元を第8.1-2表に示す。基準発振器の周波数は18.4 MHzで、すべての局部発振周波数はこの基準発振器から作られる。送信部は受信時には受信部の局部発振器として動作する設計となっており、部品点数を減らしている。送信部変調器は50 kHzの周波数で出力され、3回周波数変換してLバンドパワーアンプ(L-PA)に入る。L-PAはC級トランジスタアンプで、出力は約1 Wが得られる。また、受信信号はBPF, LNAを通った後、3回周波数変換されて帯域幅110 HzのBPFとAGCアンプを通った後、更に50 kHzに周波数変換されて復調器に入る。送信部が受信部の局部発振器を兼ねる構成となっているため、チャンネルに選択のシンセサイザは送信部のみにしか無い。

実際の送信データの入力や受信データ表示は、市販の「ポケットコンピュータ」を流用しており、本装置との間のインタフェースはRS-232C規格のシリアル転送である。電源は小型の鉛シール蓄電池を用いており、電源を入れたままの状態でも連続40分程度の動作が可能である。

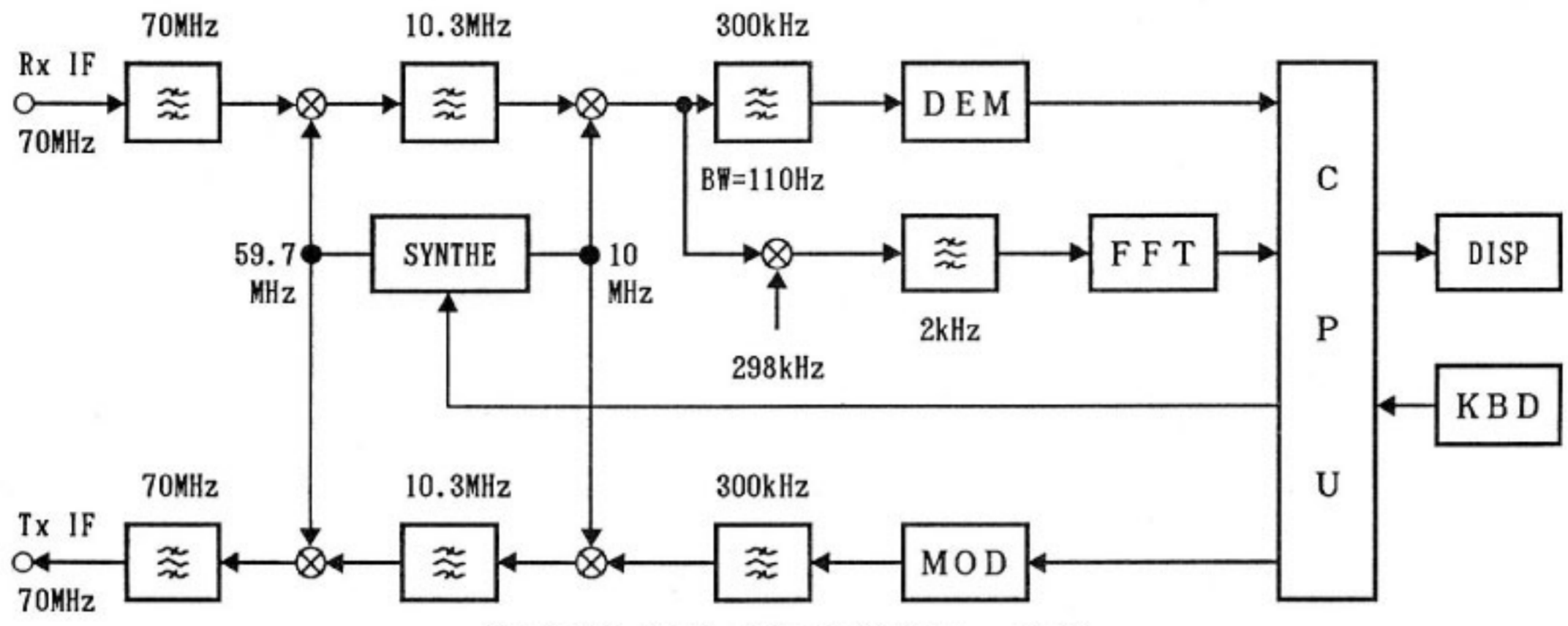
8.1.5 固定局端局部

固定局端局部は海岸/航空地球局の端局装置の一部であるが、機械的にも機能的にも独立しているため、ここで説明する。固定局端局部は送受信の共通局部発振器として市販のシンセサイズドSG(アンリツMG545A)を

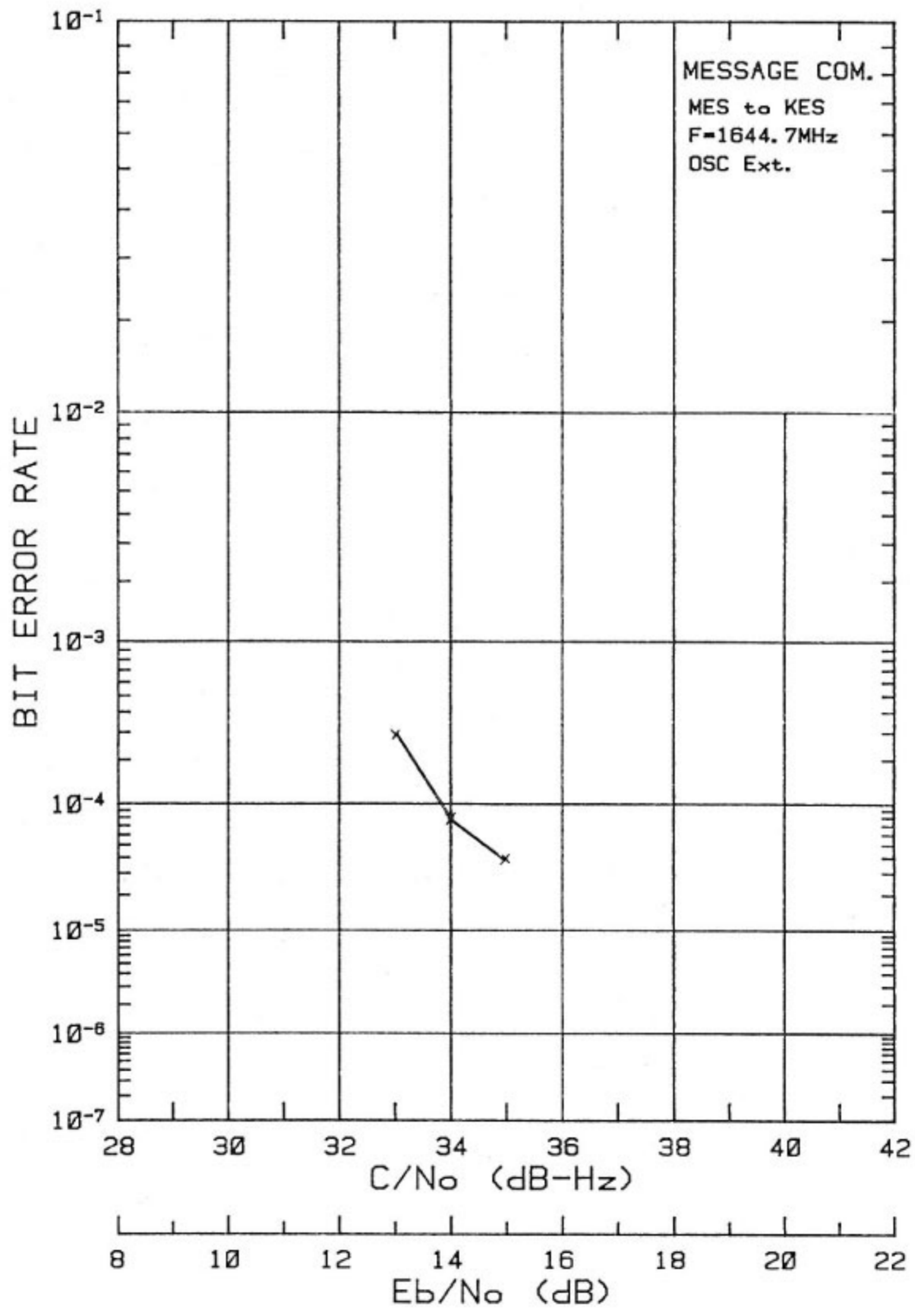
用いており、また、送信データの入力及び受信データの表示とシンセサイズドSGの制御のためにパーソナルコンピュータ(アンリツ製ポケットIII)を使用している。そして、全体は移動可能なラックに組込まれている。外観を第8.1-7図に示す。



第8.1-7図 固定局端局部外観



第8.1-8図 固定局端局部ブロック図



第8.1-9図 ビット誤り率特性

固定局端局部のブロック図を第 8.1-8 図に示す。受信信号は 70 MHz IF で入力され、10.3 MHz に変換された後、2 ルートに分岐される。片方は 110 Hz の帯域制限フィルタを通して 50 kHz に変換された後復調器に入る。他方は、2 kHz に周波数変換され LPF を通った後、A/D 変換され FFT 部に入る。FFT 部は 8 kHz サンプリングで 1024 点の FFT 演算を行い、その結果をパーソナルコンピュータに送る。パーソナルコンピュータでは、プリアンプ中のキャリア再生用ビット期間中に FFT 部で測定されたデータを受け取り、レベルのピークを検出し、それが一定値以上だと受信信号とみなして、その周波数を読む。周波数の分解能は約 8 Hz となる。検出したピーク値の周波数から、8.1.2 に述べた方法により、固定局側送信周波数の補正量が計算され、局部発振器として使用しているシンセサイズド SG を GPIB のバスラインを通して制御する。また、このパーソナルコンピュータは、送受信データの入出力用にも使用され、受信メッセージや受信周波数の偏差等の情報は CRT 又はプリンタに出力される。

アクイジション可能な限界 C/N_0 は約 33 dB·Hz である。ビット誤り率特性は、通常の系では測定期間が非常に長く、その間の周波数変動が無視できないため、移動局の原振を外部の高安定な発振器から取り、移動局送信信号をミキサで直接 70 MHz の IF 信号に変換し、固定局端局装置に入力して測定した。そのときのビット誤り率特性を第 8.1-9 図に示す。メッセージ長は高々 320 ビット (40 文字) であるので、 3×10^{-3} の誤り率でも 40 文字中 1 文字が誤るだけであり、通常の用途では誤りの影響は余り大きくないと予想される。なお、移動局側で誤りがなく送信できたかどうか確認するためには、固定局側が返す ACK 信号に移動局からの受信メッセージをそのまま入れれば良い。通常 ACK 信号には、相手の移動

局向けにあらかじめ蓄積されていたメッセージを含んでおり、移動局向けの情報は移動局が固定局にアクセスした時点で伝達されることになっている。

8.1.6 本装置の使用形態とその応用

本システムは、移動局発呼のみ、つまり、必要なときに移動する側がホストコンピュータにアクセスしてメッセージを伝えたり、自分あてのメッセージを受け取るシステムであり、最近パーソナルコンピュータ間の通信で盛んになってきた BBS (電子掲示板サービス) と同様な機能を想定している。つまり、BBS の衛星通信版と言えるシステムである。このシステムでは、移動局から固定局側に情報を伝えたいときは即座に、固定局から移動局に情報を伝えたいときには、いったん、ホストコンピュータに情報を蓄えておき、移動局がホストコンピュータにアクセスした時点で情報が伝わるというシステムである。

この方式のメリットは、移動局側で本当に必要なときだけ情報の交換ができるということであり、不必要なときに呼び出されて他の活動の邪魔となるということが無い。逆に、その点が、固定局から即座に呼び出せないというデメリットにも受け取られるかも知れない。しかし、そのようなページングサービスを望むユーザー BBS とのユーザーとは目的がかなり異なっており、むしろ、別のシステム形態が要求されるものと考えられる。もちろん、この二つのサービスが融合される可能性もある。

本装置の応用としては、衛星通信の最大のメリットであるサービスエリアの広さを考慮すると、様々な用途が考えられる。例えば、通常何の通信手段も無い山間へき地での事故等の場合の緊急通信や報道用に威力を発揮するであろう。また、双方向の遭難通信用としても即座に応用可能である。もちろん、広くビジネス用、パーソナル用としても応用可能である。

