

## ACSSB 方式陸上移動地球局

平良 真一\*<sup>1</sup> 井家上哲史\*<sup>1</sup> 鈴木龍太郎\*<sup>2</sup>

鈴木 章一\*<sup>3</sup> 河原 秀規\*<sup>3</sup> 多田 俊一\*<sup>3</sup>

(平成元年11月20日受理)

### ACSSB LAND MOBILE EARTH STATION

By

Shinichi TAIRA, Tetsushi IKEGAMI, Ryutaro SUZUKI,  
Shoichi SUZUKI, Hideki KAWAHARA, and Shun-ichi TADA

This paper describes the performance of the land mobile earth station using Amplitude Companded Single Sideband (ACSSB) modulation technique, developed for mobile satellite communications, and results of the field experiments which were conducted in rural, suburban and urban areas.

This ACSSB system uses a 3 kHz pilot tone, and the voice frequency band is from 300 to 2500 Hz.

The experiments show that the required  $C/N_0$  for voice communications is 40 dBHz and the required  $C/N_0$  for pilot signal tracking is 34 dBHz. Voice quality in rural and suburban areas was degraded only a little. In urban areas, shadowings due to the presence of large buildings and road side trees caused signal losses frequently.

A comparison of the ACSSB system with the conventional narrow band frequency modulation (NBFM) system is also made. It indicates that the ACSSB system can transmit voice signals more efficiently than the NBFM system.

#### 1. はじめに

単側波帯 (SSB) 通信方式の一つである ACSSB (Amplitude Companded SSB) 方式は、従来の周波数変調 (FM) 方式に比べ所要帯域幅が狭く、陸上移動通信に導入が期待されているアナログ通信方式である。この方式は、現在、アメリカ航空宇宙局 (NASA)、カナダの MSAT 計画等で研究が行なわれている<sup>(1)~(3)</sup>。通信総合研究所においても、技術試験衛星 V 型 (ETS-V) を用いた移動体衛星通信実験 (EMSS)<sup>(4)</sup>の一環として、ACSSB 方式を用いた地球局の研究開発を行ない、移動体衛星通信への適用を検討している<sup>(5)~(7)</sup>。

本論文では、開発した地球局の装置概要、基本特性及び ETS-V を介して行なった復調特性試験、音声評価実験等の通信実験結果について述べる。また、FM 方式との比較検討を行ない ACSSB 方式の有用性を示す。

#### 2. ACSSB 地球局

##### 2.1 ACSSB 方式の概要

ACSSB 方式は、次の 2 項目がその最大の特徴となっている SSB 方式である。

(1) パイロットトーン信号を付加する

(2) 振幅の圧縮、伸張を行なう

付加したパイロットトーン信号は搬送波再生時の基準信号となり、自動周波数制御回路 (AFC)、自動利得制御回路 (AGC)、スケルチ回路等の制御信号に利用される。第 1 図に ACSSB 方式の信号スペクトルを示す。この方式は独立側帯波の SSB (Independent SSB) の一種であると思なすことができる<sup>(8)</sup>。

(2) は ACSSB 方式の名称に由来する特徴である。振幅の圧縮及び伸張を行なう圧伸器はコンパンダ (Compandor) と呼ばれ、これはコンプレッサ (Compressor) とエキスパンダ (Expander) の合成語である。通信において用いられるコンパンダはシラビックコンパンダと呼ばれるもので、音声の包絡線レベルに対応した圧伸の

\*<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

\*<sup>3</sup> 榊ケンウッド

動作を行なう。シラビックコンパンダは地上系の陸上移動通信システムや現行の衛星通信システムに採用されている<sup>(9)(10)</sup>。ACSSB方式におけるコンパンダもシラビックコンパンダであり、送信部で低レベル信号をあらかじめ高いレベルにし音声のダイナミックレンジを圧縮して送信し、受信側でその逆の操作を施すことにより、低レベル時の信号対雑音比(S/N)を改善しようとするもの

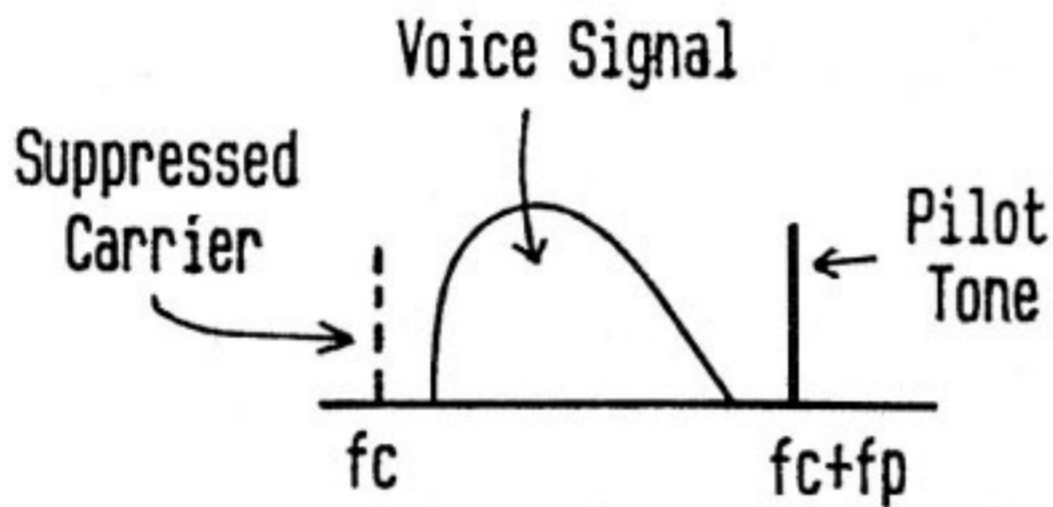
である。第2図に圧伸比が2:1のコンパンダによるS/N改善の様子を示す。

コンプレッサ及びエキスパンダの入出力レベルが同じになる点(不動点)は音声信号の最大レベルとなるように設定される。圧伸比2:1のコンパンダの使用により、音声通話を行なった場合、平均して3~4 dB程度のS/Nの改善が期待できる<sup>(11)</sup>。

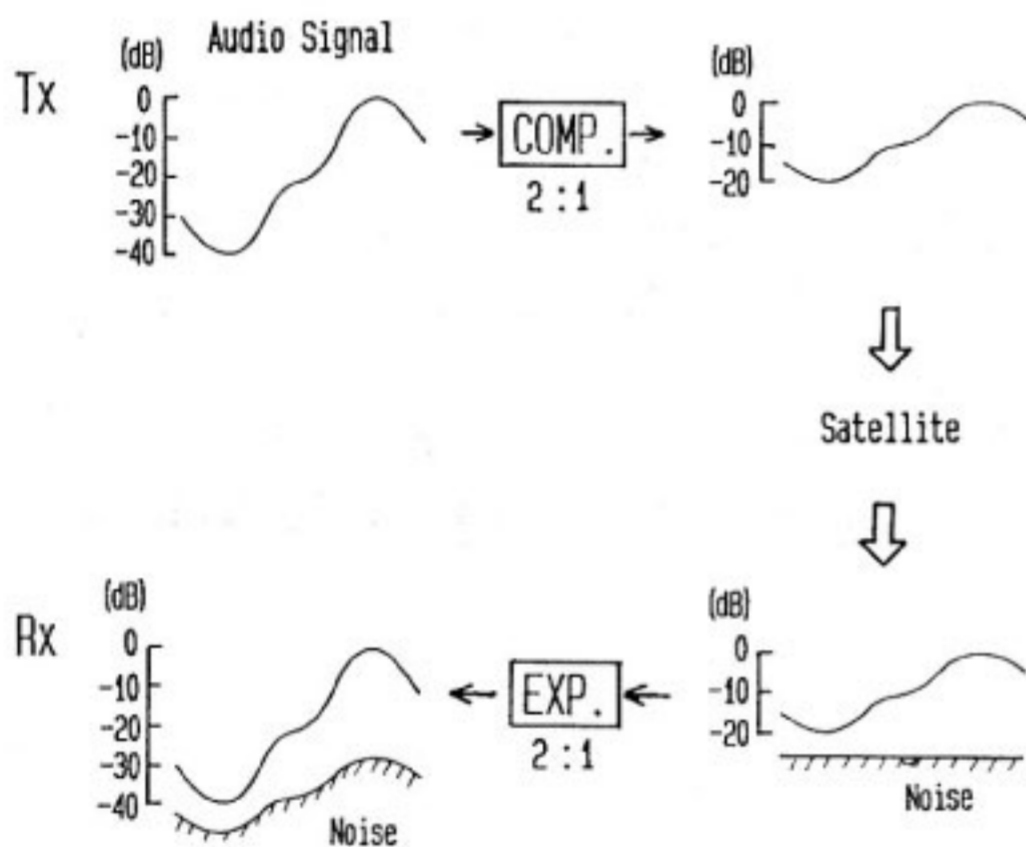
2.2 ACSSB 地球局装置の概要

移動地球局の外観写真を第3図に、その構成図を第4図に示す。

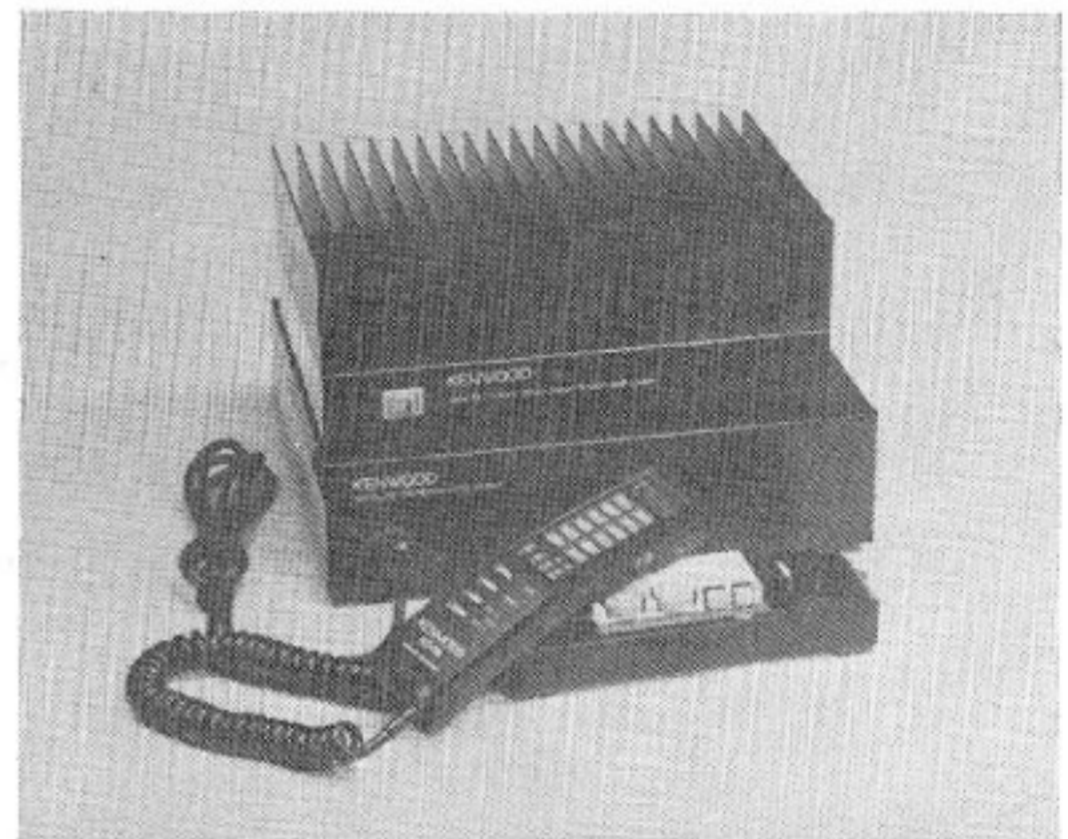
変調部では、送話器からの音声信号がコンプレッサによりその振幅を圧縮され、3 kHzのパイロットトーン信号と合成された後、SSB変調器に入力される。7.8 MHz帯のIF信号は60 MHz帯の5 kHzステップシンセサイザの出力信号と掛け合わされ、70 MHz帯の変調波となってRF系に接続される。一方、復調部では、70 MHz帯受信IF信号が60 MHz帯の5 kHzステップシンセ



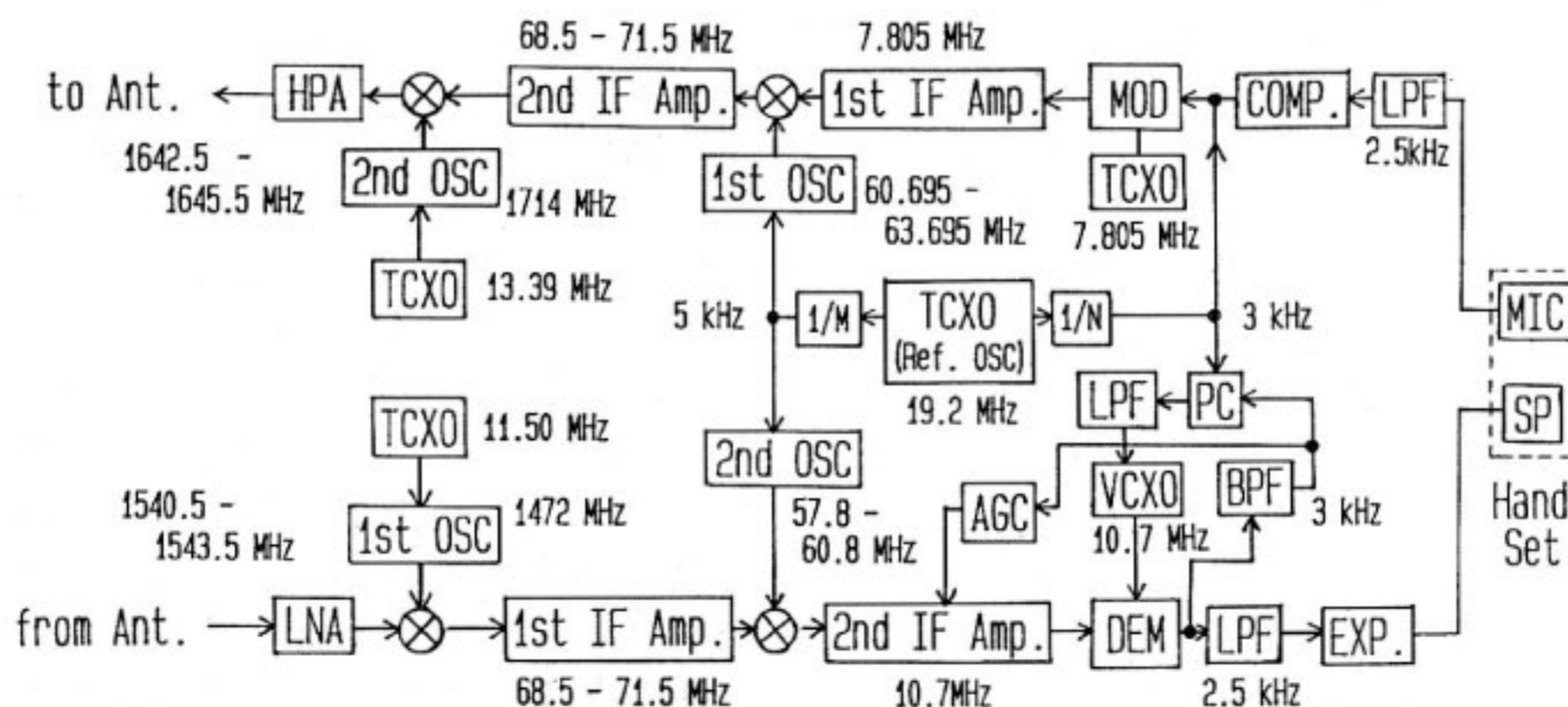
第1図 ACSSB 信号スペクトル



第2図 コンパンディング



第3図 移動地球局の外観



第4図 移動地球局構成図



サイザの信号と掛け合わされ 10.7 MHz 帯の IF 信号へと変換される。この IF 信号は復調器において 10.7 MHz 帯の電圧制御水晶発振器 (VCXO) の発振信号により乗積検波される。復調信号に含まれる 3 kHz パイロットトーン信号は音声信号と分離され、3 kHz の基準信号と比較される。位相比較器の出力はループフィルタ通過後、VCXO の出力周波数を制御する。したがって、音声信号は、この搬送波再生回路により正しく復調される。音声信号はエキスパンダにより伸張され、ダイナミックレンジは原信号と同じ大きさに戻される。

移動局 RF 部の周波数変換部は、ローカル発振器として、温度補償付水晶発振器 (TCXO) を基準にし位相同期を行なう誘電体発振器を用いて、位相雑音の低減及び小型化を図っている。

移動局の大電力増幅器 (HPA) は、ガリウムヒ素電界効果トランジスタ (Ga-As FET) を用いた線形増幅器で約 20 W の出力が得られる。

第 1 表に移動局の主要諸元を示す。大きさは、面積がほぼ A4 版大で高さが約 20 cm あり、一般の小型乗用車にも容易に搭載が可能である。チャンネルの設定等は手元のハンドセットで行なうことができる。また、アンテナも小型乗用車に容易に搭載が可能のように超小型アンテナを用いている。

基地局は、移動局と音声信号入出力部から 70 MHz 帯 IF 部まで同一の回路構成になっており、RF 部は EMSS 実験の基地局である鹿島地球局<sup>(4)</sup> の RF 部を用

第 1 表 主要 諸 元

周 波 数	送信：1644±1.5 MHz 受信：1542±1.5 MHz
電 波 型 式	J3W (3 kHz パイロットトーン付加)
送 信 電 力	20W (GaAs-FET 線形増幅器)
ア ン テ ナ	*4 線巻ヘリカル (4 dBi, 無指向性) *送受分離マイクロストリップ (7 dBi, ビーム半値幅 100 度)
LNA 雑音指数	1.2 dB
チャンネル間隔	5 kHz
周波数安定度	5×10 <sup>-7</sup>
音声周波数帯域	300 Hz~2500 Hz
音声圧縮伸張比	1:1, 2:1
パイロット信号周波数	3 kHz
電 源 電 圧	+12 V DC
容 量	290×265×225 mm
重 量	16 kg

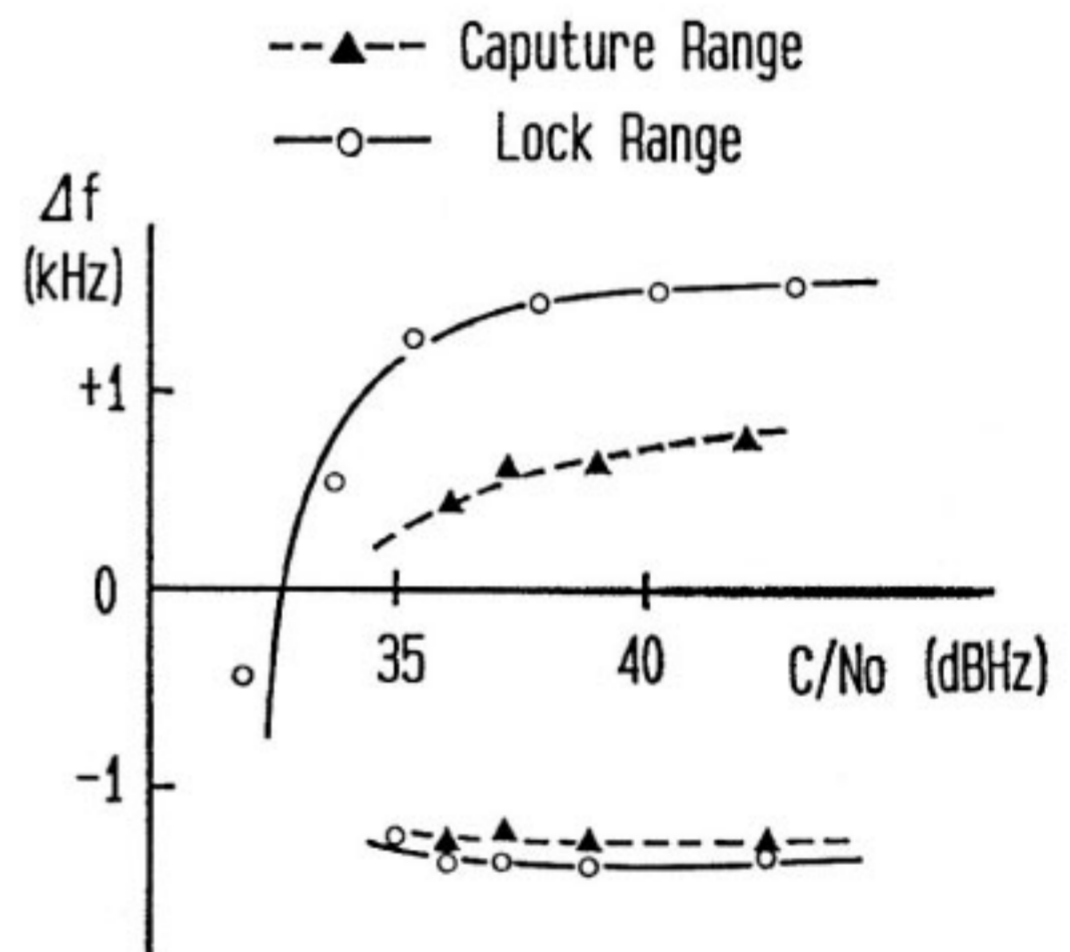
いる。

### 3. 基本特性

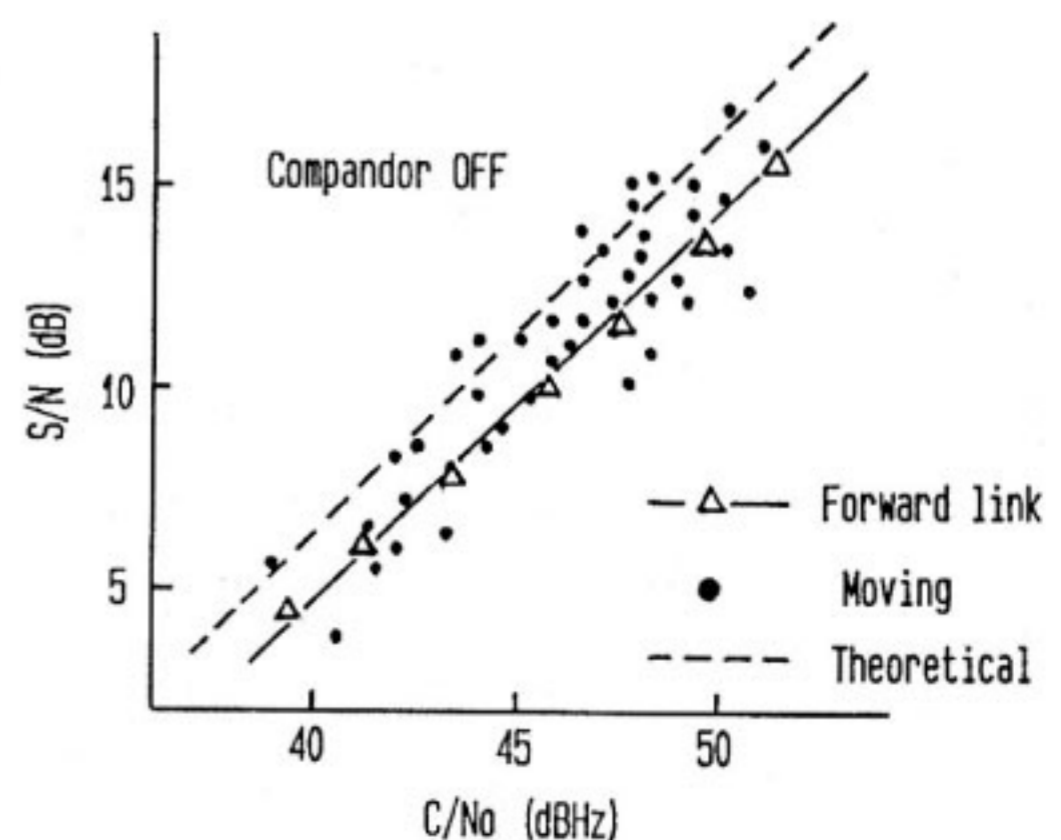
#### 3.1 パイロット信号同期特性

ACSSB においてはパイロット信号を用いて搬送波再生を行なっているため、復調側におけるその信号同期特性は重要な特性の一つである。

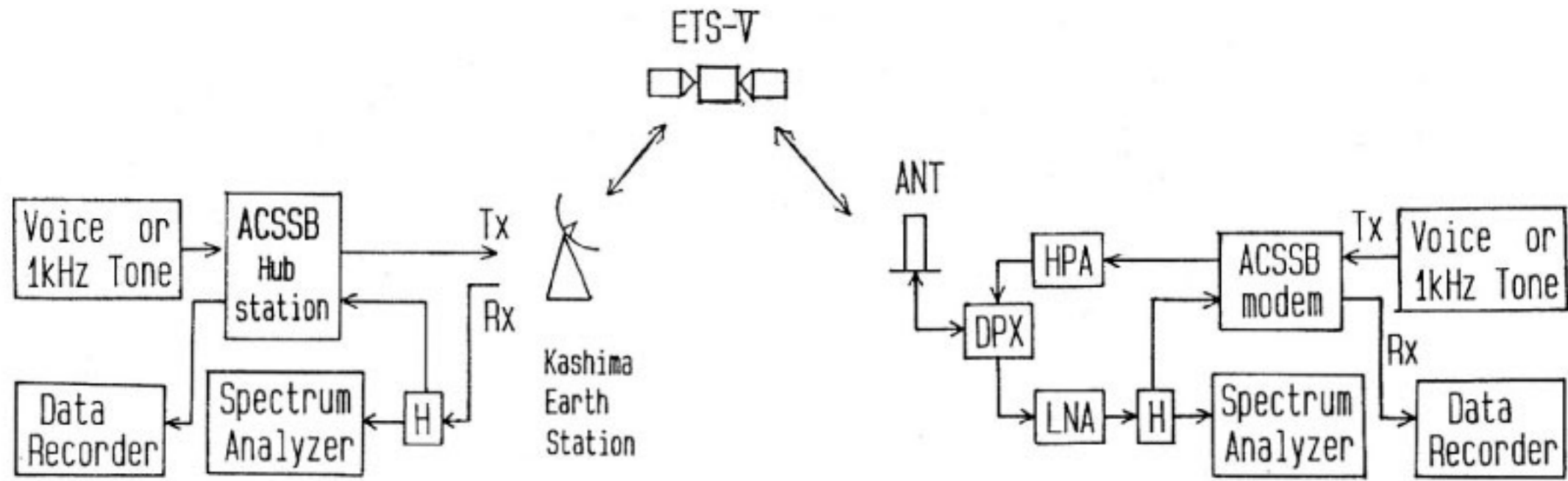
第 5 図に移動局のパイロット信号の受信信号対雑音電力密度比 (C/N<sub>0</sub>) に対するロックレンジ (同期保持範囲) 及びキャプチャレンジ (同期引き込み範囲) の測定結果を示す。ロックレンジとは、同期した状態から、同期回路へ入力されるパイロット信号の周波数が偏移した場合に、同期を保持することが可能な周波数の範囲で、キャプチャレンジとは、非同期の状態から、同期回路へ入力されるパイロット信号の周波数が偏移した場合に、同期状態へ移ることが可能な周波数の範囲である。図で



第 5 図 パイロット信号同期特性



第 6 図 C/N<sub>0</sub> 対 S/N 特性



第7図 実験系構成図

例えば  $C/N_0 = 40$  dBHz の場合、ロックレンジは正の周波数偏移幅約 1.5 kHz と負の周波数偏移幅約 1.4 kHz の和の約 2.9 kHz であり、キャプチャレンジは正の周波数偏移幅約 0.8 kHz と負の周波数偏移幅約 1.3 kHz の和の約 2.1 kHz である。

装置の周波数安定度は  $5 \times 10^{-7}$  以下で、周波数はLバンド (1.5/1.6 GHz 帯) であることから、同期回路の入力周波数には最大で約 800 Hz の周波数変動が生ずる。したがって、同期引き込み時において約 40 dBHz, また同期保持には約 34 dBHz の  $C/N_0$  があればこの変動に対しても十分な同期特性を得られることがわかる。周波数の偏移が小さい場合にはさらに低い  $C/N_0$  値で同期が可能であり、約 32 dBHz がその限界値である。

3.2 復調特性

SSB 方式は振幅変調であるため、受信信号対雑音電力比 ( $C/N$ ) と復調信号の信号対雑音電力比 ( $S/N$ ) とは一致し、FM 方式のようなスレッシュールド特性を有しない。移動局の静止時及び移動時の  $C/N_0$  対  $S/N$  特性を第6図に示す。測定用の試験信号には 1 kHz の正弦波信号を用いている。点線は本装置の音声通過帯域幅である 2.2 kHz の場合の理論直線、三角印は静止時の特性である。また黒点は移動測定による結果で、それぞれの点での  $C/N_0$  は 0.01 秒間の平均値である。

図より静止時の特性は理論値から約 1.5 dB の劣化があることが読み取れるが、これは IF 帯での折り返し特性とほぼ一致していることから、衛星回線による劣化は認められなかった。

移動測定では本装置を車両に搭載し、その走行中においてデータの取得を行なった。実験の測定系を第7図に示す。使用したアンテナは利得 4 dBi の無指向性 4 線巻ヘリカルアンテナである。測定系を簡略化するため、復調信号は直接磁気テープへ記録し、実験終了後、取得したデータに FFT 処理を施すことによって  $S/N$  の特性を求めた。移動測定結果は静特性とほぼ等しく、良好な

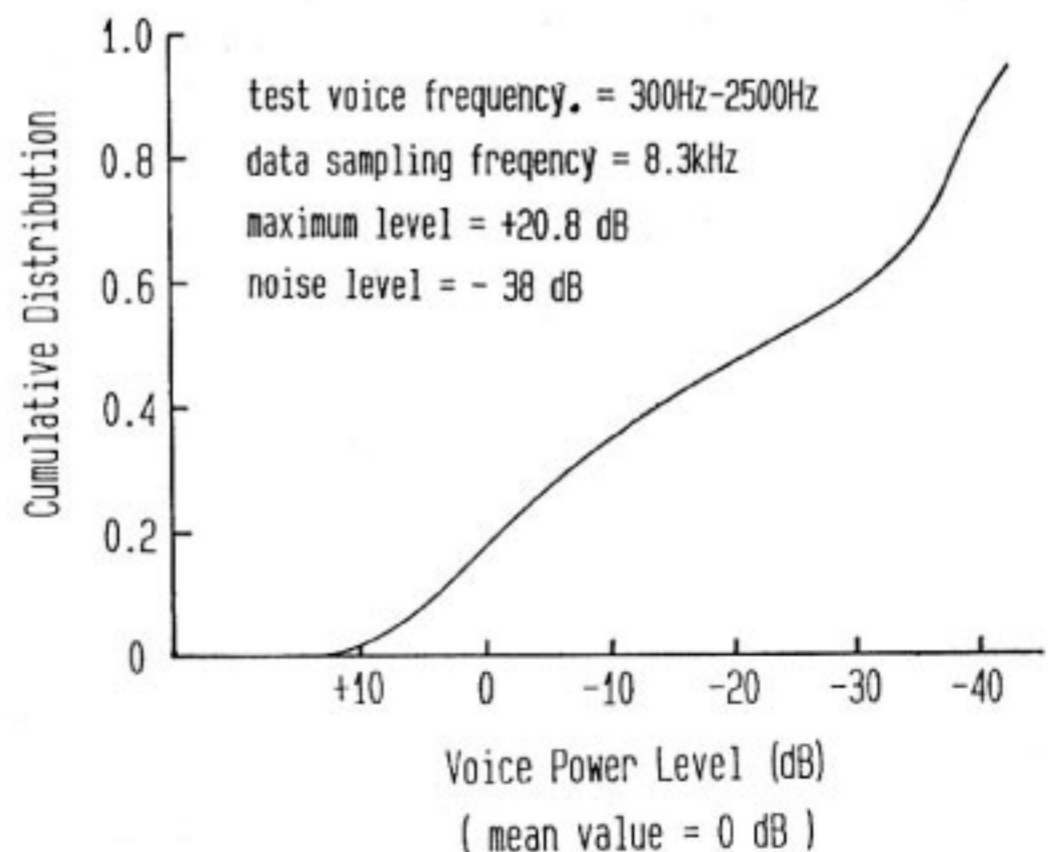
特性となっている。

4. 音声伝送特性

静止時及び移動時において通話実験を実施し、音声品質の評価を行なった。評価には、MOS (Mean Opinion Score) 値による 5 段階評価を用い、被験者 16 人を対象に、第2表に示す評価カテゴリー<sup>(12)</sup>にしたがって試験

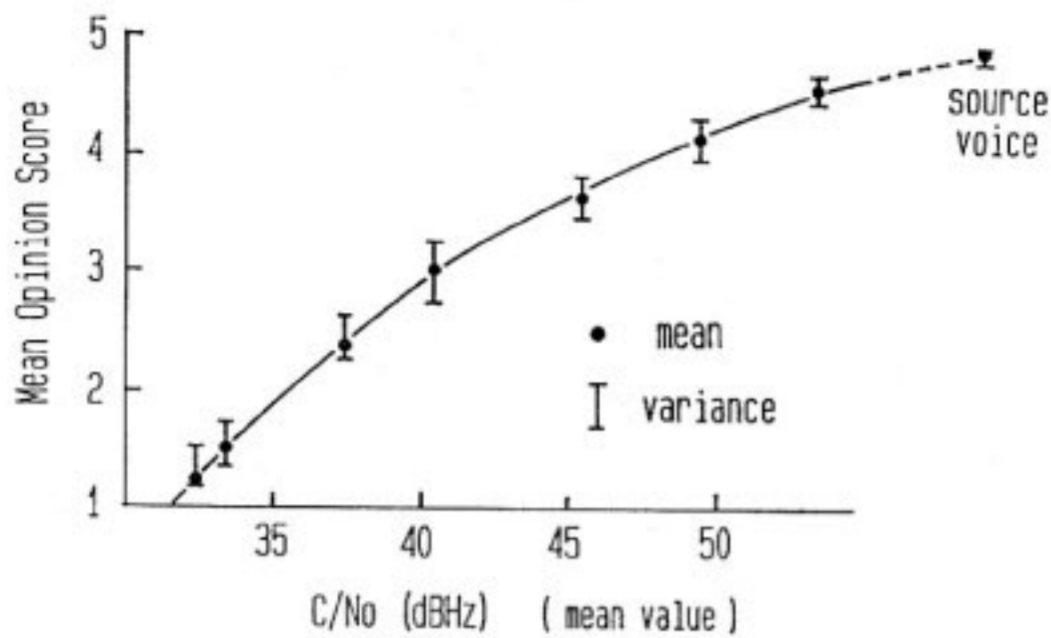
第2表 評価のカテゴリー

評価値	内容の了解性
5	雑音がなく、音声完全に聴きとれる
4	少し雑音があるが、音声を聴きとろうと努力しなくても、十分話の内容がわかる。
3	かなり雑音があり、聴きとる努力がやや必要で、随所に聴き直しを要する。
2	強い雑音があり、聴きとる努力がかなり必要で、しばしば聴き直しを要する。
1	非常に強い雑音があり、話の内容が了解できない。



第8図 試験音声レベルの累積分布





第9図 ACSSB方式におけるC/N<sub>0</sub>対MOS特性

第3表 移動実験におけるMOS評価値

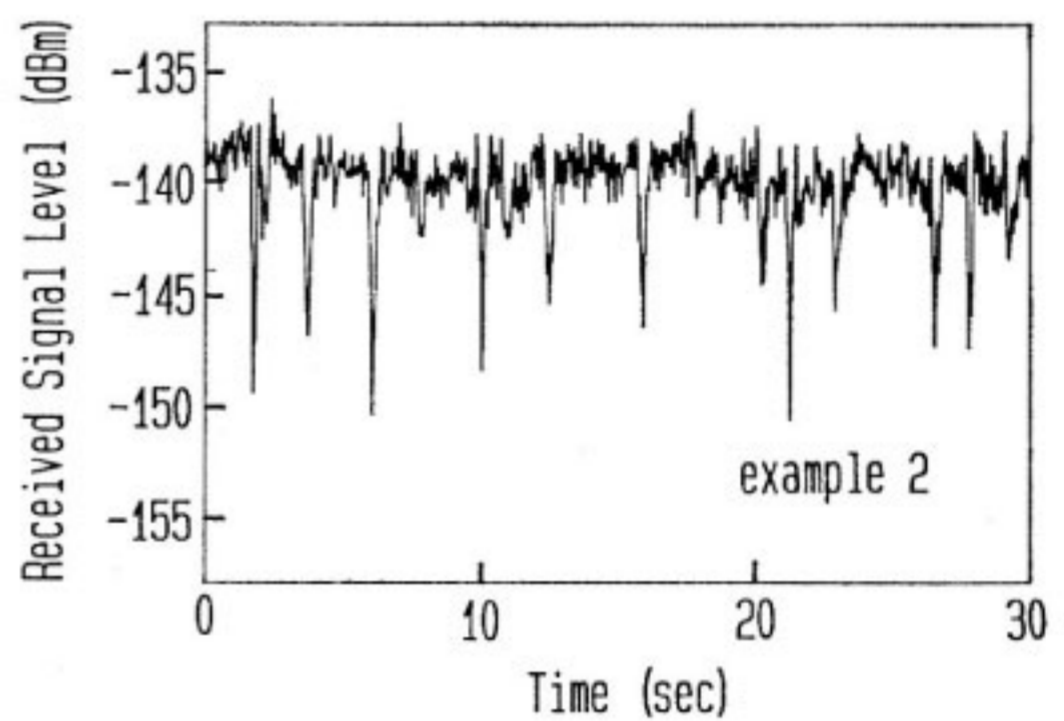
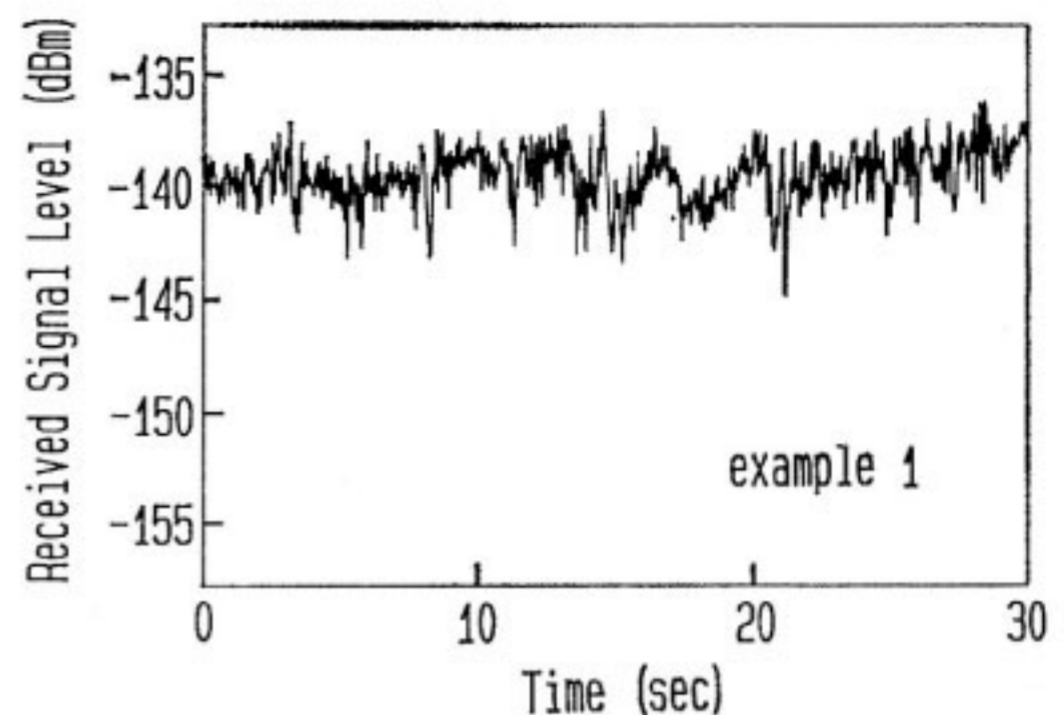
	C/N <sub>0</sub> 平均値	C/M	MOS 平均値	分散
測定例1	35.9 dBHz	12.1 dB	1.75	0.44
測定例2	35.7 dBHz	—	1.50	0.25
測定例3	36.3 dBHz	14.1 dB	1.94	0.40

を実施した。試験音声は男性アナウンサーによるニュースの朗読で、時間は約30秒、また、ACSSB装置の音声帯域が300 Hz~2500 Hzであることから試験音声にはあらかじめ同様の帯域制限を施している。試験音声の電力レベル分布を第8図に示す。分布は文献(11)に示されている長時間での分布と良く一致しており、試験音声としては十分な長さである。また、レベルは平均レベルを0 dBとする相対値で表わしてあり、雑音レベルは平均レベルより約38 dB低い値である。

静止時の試験結果を第9図に示す。ACSSB装置はコンパンドを使用した状態であり、ACSSB方式においては受信信号レベルが音声信号レベルの変化に応じて変わるため受信信号レベルの平均値をCレベルとしてC/N<sub>0</sub>値を規定している。この結果より、圧縮比2:1のコンパンドを使用した状態で40 dBHz以上のC/N<sub>0</sub>値があればMOSの平均値が3以上となり、良好な音声通信が可能であるといえる。

移動時における音声通話実験は郊外(茨城県鹿島町周辺)並びに市街地(水戸市内)において車両走行により実施した。

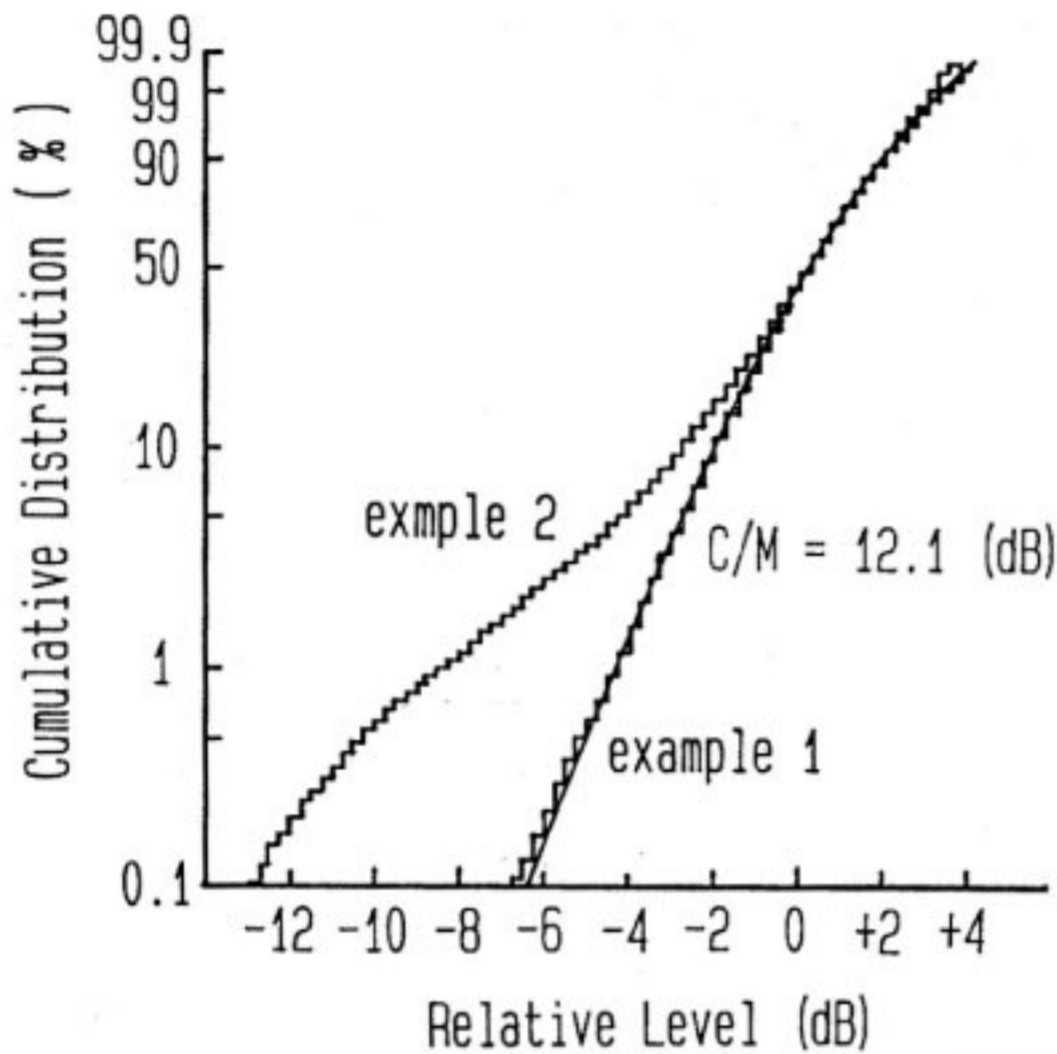
衛星からの受信信号は、障害物によって回線が遮られる場合を除けば、衛星仰角が約47度と高仰角であることから、地上系の陸上移動通信システムにおける電波伝搬特性<sup>(13)</sup>に見られるような大きなフェージングはなく、レベル分布は、フェージングレンジ(1~99%値)が約2~5 dBと安定しており、ライス分布と良く合致した分布であった<sup>(14)(15)</sup>。通話実験においても、ビルなどの建築物や街路樹といった大きな障害物によって回線が



第10図 音声評価実験における受信信号レベル変動

遮られると、パイロット信号が同期せず通話不能となるものの、衛星を見通せる場所では安定した通話が可能であった。また、電柱、交通標識などにより回線が遮られた場合には、受信レベルの低下はあるものの、30~50 km/h程度の速度で走行中の場合にはその時間が短く、音声品質に大きな劣化はなかった。

静止時の場合と同様にして、走行中における伝送音声に対するMOS評価を行なった。評価結果を第3表に示す。測定例1及び2は市街地における測定例で、測定例1の音声受信時に走行した道路の両側には三階建て以下の商店や住宅が建ち並んでおり、これらによる回線の遮断はなく、受信信号のレベル分布は直接波対多重路波電力比(C/M)が12.1 dBのライス分布と良く合致している。測定例2は1と似た周囲環境であったが道路の両端には電柱が規則正しく並んでいた。測定例3は郊外地における測定例で、周囲には建物が散在しており、レベル分布はC/M=14.1 dBのライス分布とほぼ一致している。走行速度はいずれの場合も時速約40 kmである。測定例1及び2における3 kHzパイロット信号の受信レベル変動の様子を第10図に、その累積分布を第11図に示す。走行中の受信音声に対するMOS値は静止時のものより若干の低下が認められるが、測定例1と2ではほ



第11図 受信信号累積分布

とんど差がなく電柱による音声品質の低下はわずかである。

フェージングが大きい場合のデータを得ることは衛星をのぞむ仰角が高いため困難であるが、これにはフェージングシミュレータを使用した疑似実験が有効で、今後の課題である。

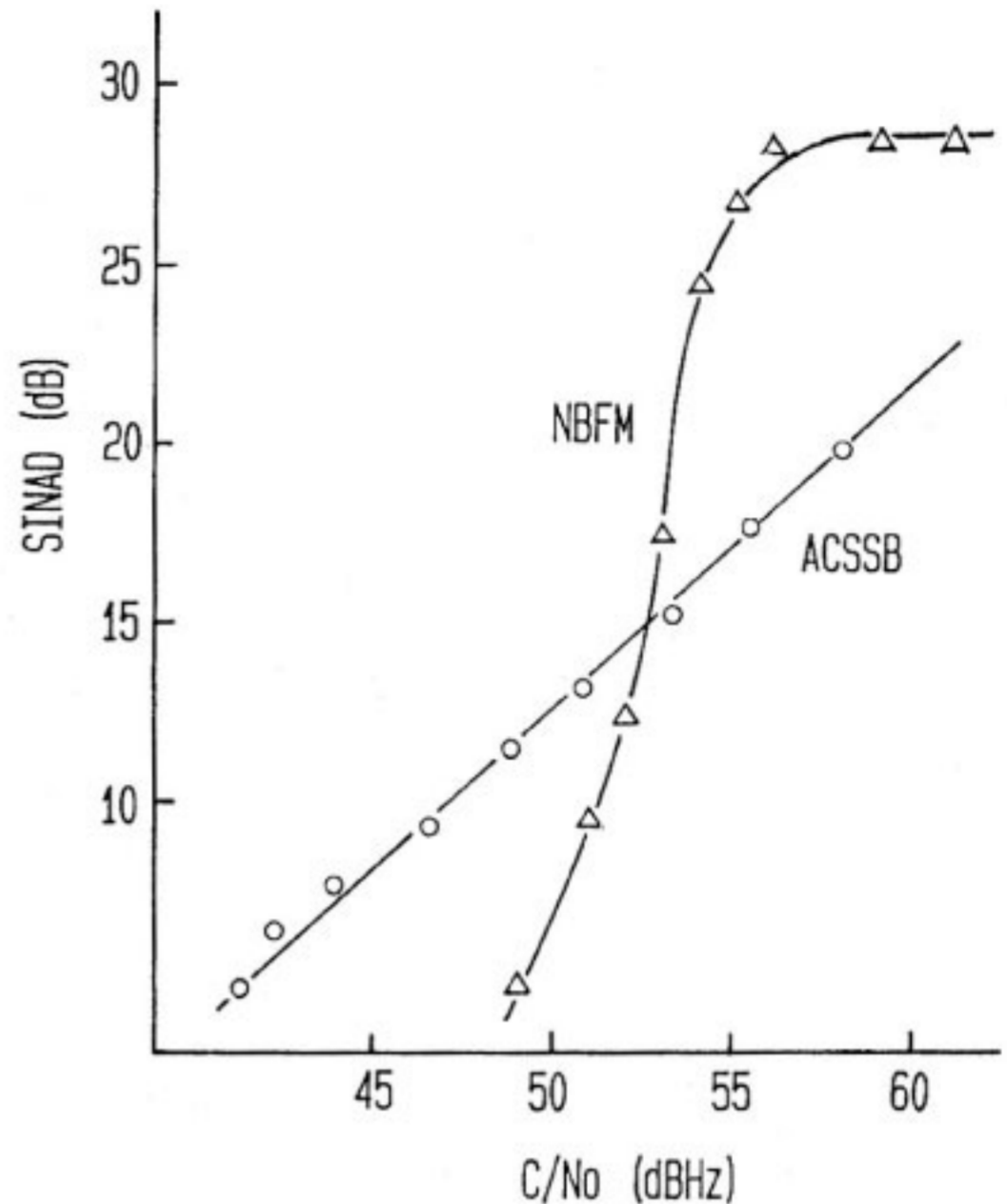
### 5. FM 方式との比較

現在の移動体衛星通信における音声伝送アナログ方式としては FM 方式がある。現用の船舶衛星通信に用いられているのと同様の狭帯域 FM (NBFM) 装置<sup>(10)</sup>による通話実験を実施し、ACSSB 方式との音声品質の比較を行なった。

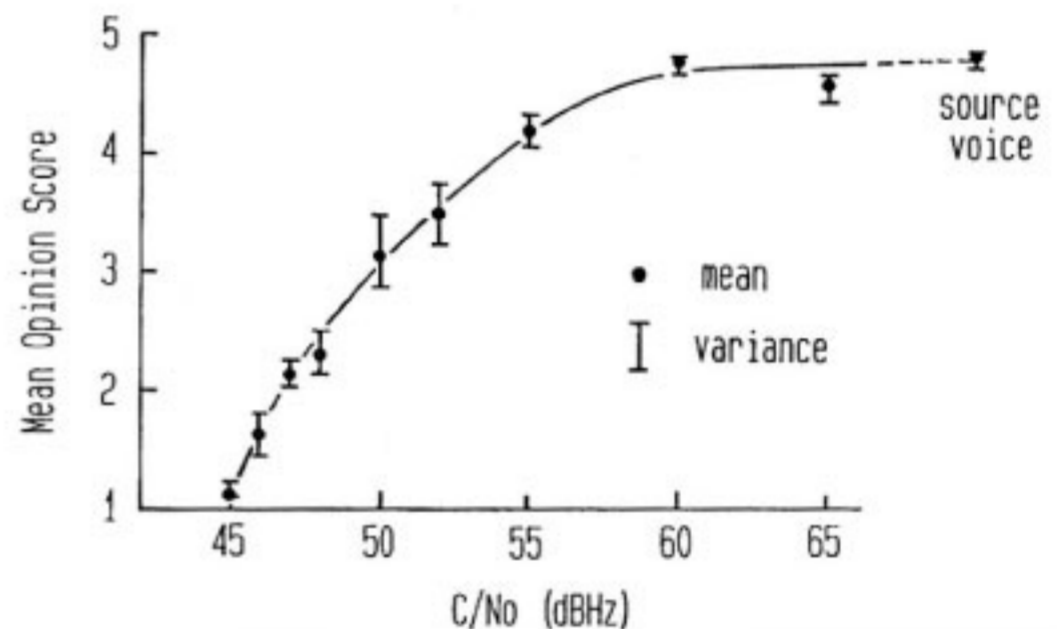
NBFM 装置には圧伸比 2:1 のコンパンダが備えられており、最大周波数偏移は 12 kHz である。ACSSB 及び NBFM の C/N<sub>0</sub> 対 SINAD (信号、雑音及び歪電力の和と雑音及び歪電力の和との比) 特性を第 12 図に示す。

実験としては、ACSSB 方式との場合と同様にして NBFM 装置の MOS 評価試験を行なった。試験音声も ACSSB の場合と同じものを用いている。結果を第 13 図に示す。第 9 図と比較すると MOS=3 を得られる C/N<sub>0</sub> は ACSSB の場合が約 40 dBHz であるのに対し、NBFM は約 50 dBHz である。C レベルは平均電力値を示しているが、NBFM の場合は受信信号が定包絡線であることから最大電力値と等しい。

ACSSB 方式は振幅変調方式であるから、所要送信電力は音声信号の最大レベル時の送信電力である。リミッ



第12図 C/N<sub>0</sub> 対 SINAD 特性



第13図 FM 方式における C/N<sub>0</sub> 対 MOS 特性

タによりあらかじめ最大レベルを制限すれば所要送信電力値は小さくなるものの、歪率の増加によって音質が劣化する。しかし、音声信号のレベルは最大レベル付近の値になる確率が非常に小さい。このため、クリッピングのレベルが平均レベルよりある程度高ければクリッピングによる音質の劣化はほとんどなく、試験音声の場合、平均レベルより 14 dB 以上高いレベルでのクリッピングであればクリッピングしない場合の音声との音質の差は認められなかった。したがって ACSSB の場合の所要電力は、平均レベルより 14 dB 高い値であれば十分である。第 9 図及び第 13 図より MOS 値 3 を得る C/N<sub>0</sub> 値は NBFM が 10 dB 多く必要であるから、所要電力としては NBFM の方が 4 dB 有利となる。

衛星回線の場合は中継器の送信電力制限と周波数帯域制限が問題となる。実験の結果は 1 回線では電力的に



NBFM が有利であることを示しているが、周波数分割多重 (FDM) システムを想定した場合、ACSSB が電力的に有利となる可能性がある。経験的なデータによると SSB システムでの音声伝送の場合、例えば回線数が 10 のシステムの所要電力は回線数が 1 の所要電力より 6 dB だけ高ければ良く、4 dB 分の電力改善効果がある。回線数が増すとその改善効果はさらに増加する<sup>(16)</sup>。ACSSB においても SSB の場合と同様に電力改善効果が期待でき、NBFM では回線数が N 倍になると N 倍の電力が必要となるから、回線数がある程度以上のシステムならば ACSSB は NBFM より電力的に優位になると考えられる。また、ACSSB の所要帯域幅は 3 kHz で、NBFM の所要帯域幅である 30 kHz (実測値) の 1/10 であるから周波数帯域制限の点では非常に有利である。陸上移動体通信の場合、その需要は高いことが予想され、より多くの回線を収容するためには ACSSB 方式が有効であると考えられる。

ただし、以上の検討においてはフェージングは考慮しておらず、今後はフェージング時の評価を行ない総合的な判断をする必要がある。

## 6. む す び

ACSSB 方式を用いた移動体衛星通信の陸上移動地球局を開発し、その装置概要、基本特性について述べた。本装置は小型軽量で一般の小型乗用車にも容易に搭載が可能なものである。

衛星を介した通信実験を行なった結果、フェージングの無い条件の下では 2:1 のコンパンドを使用した状態において、音声の平均受信 C/N<sub>0</sub> 値で 40 dBHz 以上あれば MOS 評価値が 3 以上となり、良好な通信が行なえることが確認できた。また、移動局を実際に車両に搭載した走行実験を行ない、良好な復調特性結果を得た。走行中に、ビル、街路樹等の大きな障害物により回線を遮られる場合の他は、通話品質は安定しており、電柱等の小さな障害物によるフェージングは音声品質に大きな劣化を及ぼさないことが判った。

現行の狭帯域 FM 方式との比較検討を行ない ACSSB 方式の衛星通信回線での有効性を示した。

今後はフェージング時の伝送実験を詳細に行ない、総合的な評価をする必要がある。

なお本装置の開発並びに実験は、通信総合研究所共同研究規定に基づき榎ケンウッドと通信総合研究所との共

同研究により実施している。

## 参 考 文 献

- (1) L. T. Jones and W. A. Kissick, "ACSB-A Minimum Performance Assessment", Proceeding of the Mobile Satellite Conference (1988).
- (2) Lapin, S. P, "ACSB System Design", Proceedings of 34th IEEE Vehicular Technology Conference, pp. 91-96, 1984.
- (3) "MSAT Communications System Concept Document", MSAT No. 2001 Issue A (1983).
- (4) "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 (ETS-V/EMSS)", 電波季, 34, Special issue No. 6, March 1988.
- (5) 鈴木(龍), 井家上, 小坂, 鈴木(章), 井上, 斎藤, "EMSS 用陸上移動地球局—ACSSB 方式車載地球局—", 昭62信学総全大, 2342 (1987).
- (6) 斎藤, 鈴木, 井家上, 井上, 河原, 多田, "ACSSB 方式陸上移動地球局—装置概要—" 昭63信学総全大, B-210 (1988).
- (7) 鈴木, 井家上, 門脇, 多田, 井上, "ACSSB 方式陸上移動地球局—実験速報—" 昭 63 信学総全大, B-211 (1988).
- (8) 鈴木, 吉谷, "通信方信としての SSB の変遷", 通信総研季, 34, 191, pp. 83-99, June 1988.
- (9) 安達, 寺野, "陸上移動通信におけるシラビック・コンパンドの適用効果, 信学技報, CS78-3 (1978).
- (10) 宮憲一, "改訂衛星通信技術", 電子情報通信学会編, 昭和60年2月.
- (11) 三浦種敏, "新版 聴覚と音声", 電子情報通信学会編, 昭和55年2月.
- (12) 塚田, 角川, "150 MHz 帯陸上移動通信用リンコンパックス装置—その特性と評価—", 信学論 (B), J65-B, No. 12, pp. 1483-1490, Dec 1982.
- (13) 奥村, 進士, "移動通信の基礎", 電子情報通信学会編, 昭和61年10月.
- (14) 井家上, 鈴木, 丸山, "ETS-V/EMSS 陸上移動衛星伝搬実験速報" 昭和63年信学総全大, B-208(1988).
- (15) 吉川, 寺田, 駒形, "EMSS 移動体衛星通信実験速報" 昭和63年信学秋全大, B-100 (1988).
- (16) S. Stein, J. J. Jones, "現代の通信回線理論", 関英男監訳, 森北出版 (1970).

