

オーストラリアにおける陸上移動体衛星通信実験

鈴木龍太郎*1 大森 慎吾*2

(平成元年11月20日受理)

LAND-MOBILE SATELLITE COMMUNICATION EXPERIMENTS IN AUSTRALIA

By

Ryutaro SUZUKI and Shingo OHMORI

Since late 1988 AUSSAT has been conducting experiments in land mobile satellite communications in the L band with the ETS-V satellite in Australia through a joint program with CRL. The test program includes propagation measurements and the evaluation of technologies suitable for application that may be applied to AUSSAT's MOBILESAT service scheduled to start in 1992.

The voice quality evaluation test about three types of ACSSB terminals has been carried out with 15 dBi mechanically tracking antenna using AUSSAT's mobile laboratory. The results of these mobile experiments point out the need for noise muting control and the improvement of voice quality.

1. はじめに

郵政省通信総合研究所 (CRL) とオーストラリアの AUSSAT 社は、日豪科学技術協力協定に基づき技術試験衛星 V 型 (ETS-V) を使用した移動体衛星通信の共同実験を行っている。また、CRL と AUSSAT の覚書の下で、AUSSAT は、オーストラリア国内において移動体衛星通信の装置の開発や実験に関していろいろな機関と共同研究を行っており、その中には、TELECOM AUSTRALIA (TELECOM) や各大学、米国のテキサス大学、JPL など含まれている。CRL と AUSSAT の共同実験としては、CRL の通信装置を使用して陸上移動実験を実施した。

2. AUSSAT の移動体衛星通信計画

オーストラリアは、移動体通信の分野では自動車電話、VHF、UHF 帯の業務用無線などは日本と同様であるが、都市部を除く広大で人口密度の低い地域をカバーするために短波帯が使用されている点に特徴がある。この短波無線は、一般のプッシュホンから通話することもできるが、送受信同時ではなく切り替えをプッシュボタンで行う手間がある上、回線数も少ない、音声品質や信頼

性が低い等使用しにくい。そこで、都市部以外の国土を一挙にカバーでき、高信頼性で低コストのフルデュプレックス通信を実現する手段として、移動体衛星通信への期待が高まっているわけである。その様な状況の中で国内衛星通信を独占的にサービスしている AUSSAT 社は、その次期衛星システムを用いて移動体衛星通信サービスを開始することを決定した。

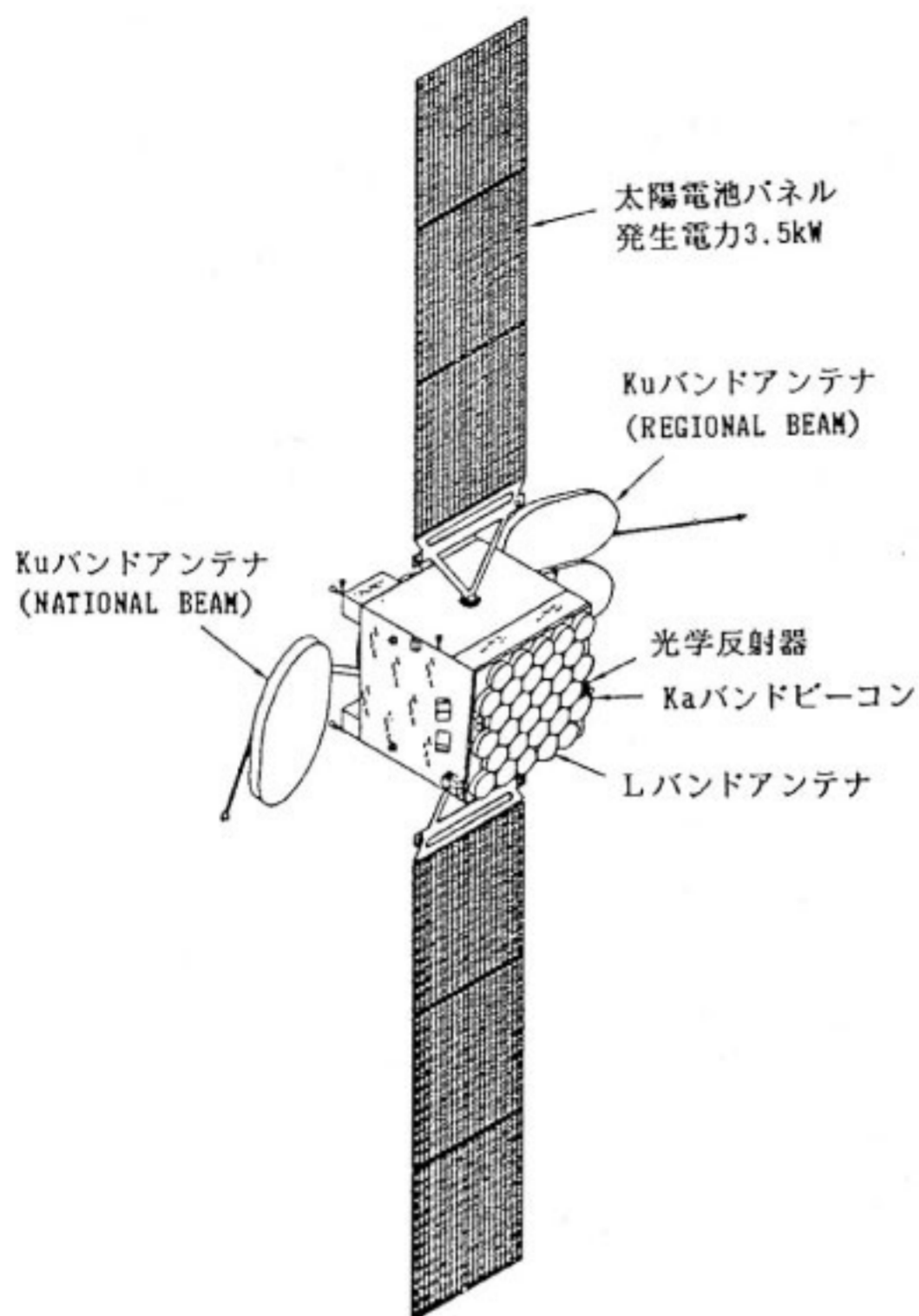
AUSSAT 社は、国内衛星通信サービスのため、国が 75%、TELECOM が 25% を出資し設立された会社である。AUSSAT 社は、現在 Ku バンド帯の静止通信衛星 AUSSAT-A シリーズ 3 機を所有し、固定衛星通信サービスを行っており、さらに後継機 AUSSAT-B シリーズ 2 機の開発を進めている。第 1 図に概念図を示す。この B シリーズ衛星に L バンド帯移動体通信機器が搭載され、1992 年から世界初の陸上移動体衛星通信サービスが開始される。

AUSSAT-B シリーズは、1991 年に 2 機、中国のロケットで打ち上げられる予定である。衛星本体は、ヒューズ社の HS-601 タイプが用いられ、1.2 t クラスの新型三軸安定型静止衛星で、固定衛星通信サービス用 Ku バンド中継器 15 本と移動体衛星通信機器を搭載する。

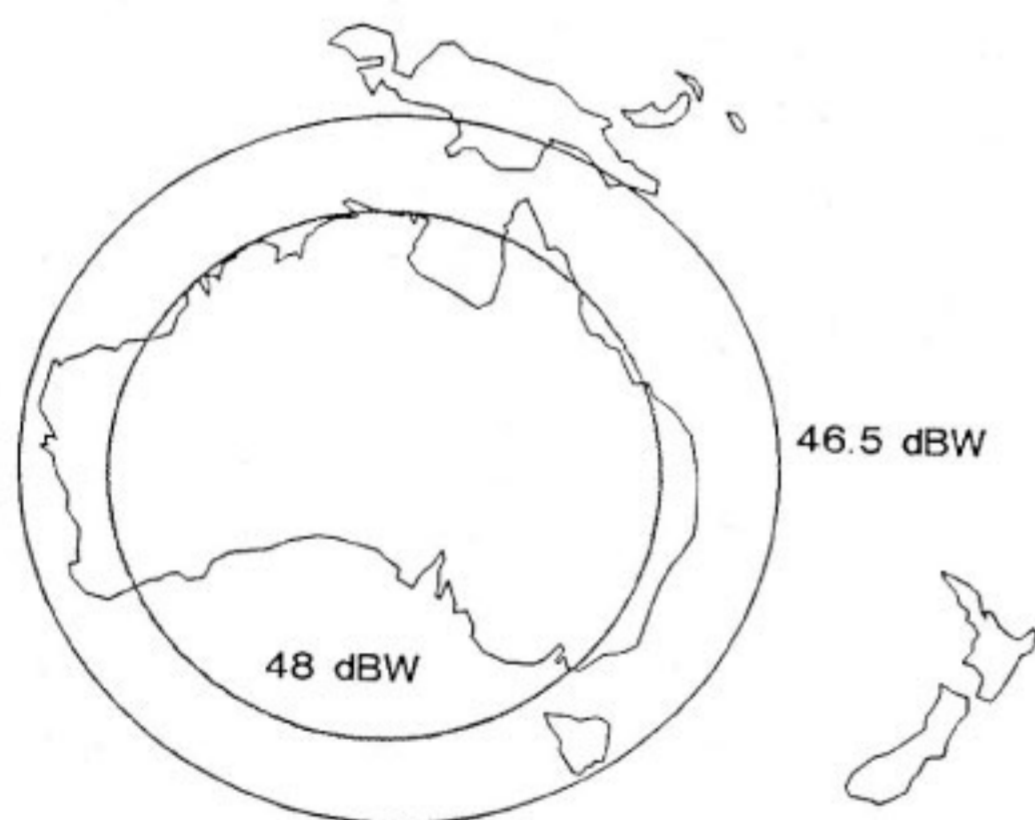
米国やカナダの陸上移動体衛星通信の計画では、莫大な通信需要が見込まれるので、複数のビームを持つ移動体通信専用衛星が必要となるが、人口約 1630 万人のオー

*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



第1図 AUSSAT-B シリーズ衛星概念図



第2図 AUSSAT-B 衛星Lバンドアンテナパターン

オーストラリアでは、移動体通信の需要がアメリカほど無く固定衛星通信の衛星の更新時期に合わせ、相乗りによる導入が可能になる。これが、世界に先駆けて陸上移動体衛星通信を導入できる大きな要因の一つと考えられる。

Lバンド移動体通信のアンテナは、第2図に示すようにビーム1本でオーストラリア全土を照射する設計となっている。Lバンド中継器は、Lバンドの移動体衛星

通信に割り当てられた 14 MHz 全帯域をカバーし、4 系統に分割された空間合成出力 160 W の固体増幅器 (SSPA) を備えている。

3. ETS-V を用いた陸上移動実験

3.1 基地地球局の構成

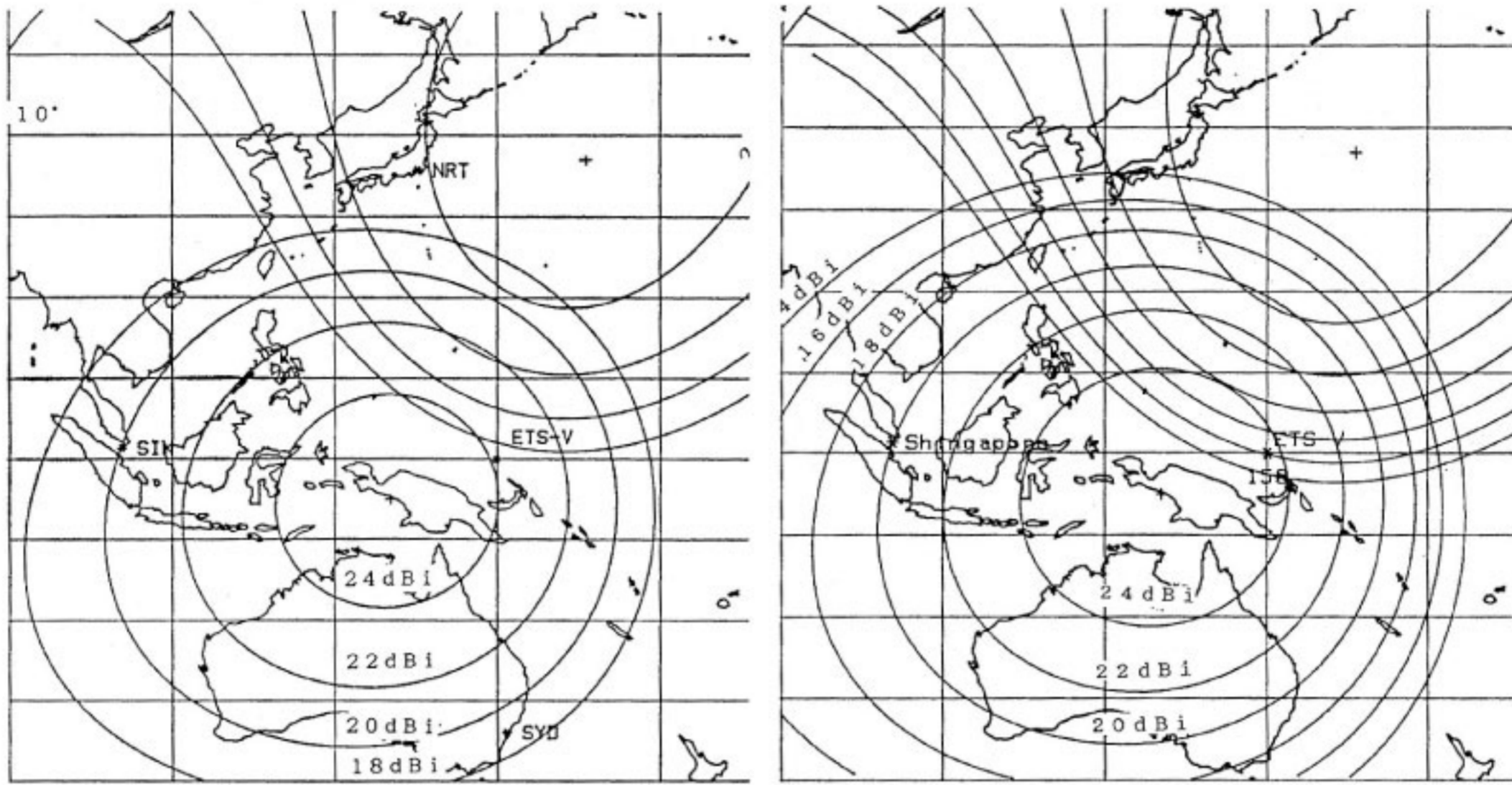
オーストラリアで ETS-V を使用した実験を行う場合、衛星の南ビームを用いる。第3図に示すようにオーストラリア北部は衛星のLバンドアンテナ利得が高い領域であり、西海岸の人口の集中している地域で 5 dB 程度の利得低下となっている。また、Cバンドフィーダーリンクに関しては、このアンテナパターンが日本を中心とするパターンになっており、オーストラリアでは5から 10 dB の利得低下がある。オーストラリアにフィーダーリンク局を準備するためには、衛星アンテナの利得が不足しているためCバンドの基地地球局としては、30 m クラスのアンテナが必要になり現実的ではない。そこで ETS-V の Lバンド折り返しの回線モードを使用し、Lバンドの高利得アンテナを備えた基地地球局を設置し、フィーダーリンク局として用いる。

基地地球局は、AUSSAT 本社ビル屋上に設置された。第4図に AUSSAT 基地地球局の構成図を示す。送受分波器と受信低雑音増幅器及び受信周波数変換器は、パラボラアンテナの給電部の容器内に収納されておりアンテナからは 70 MHz の IF 周波数で実験室まで送られる。送信高電力増幅器及び送信周波数変換器はビルの屋上直下の空調室内に設置されており、送信機とアンテナの間は低損失の同軸ケーブルで接続される。給電系の損失は 2.5 dB である。実験室からは 70 MHz IF でこの部屋まで送信信号が伝送される。第4図に示すように、送信及び受信周波数変換器は、ダブルコンバージョンタイプを採用してある。この方式は回路的には複雑になるが、Lバンド周波数と第1中間周波数の間の周波数変換には、基準周波数の高い固定の発振器を用いることが出来るため、局部発振器の位相雑音特性などの点で利点がある。

第1表に基地地球局の諸元を示す。直径 4.6 m のアンテナを用いているため、衛星のLバンド送信出力を最大規定値とする基地局送信電力は 2 W 程度で十分である。しかし、ここでは基地局装置と車載局装置を同一として実験用の予備系を一つで済ませるため、基地局装置にも最大出力 40 W の高電力増幅器が使われている。そこで、衛星中継器の保護のため高電力増幅器の出力検波出力を監視してリミットを超えた場合に電源をシャットダウンする保護回路を備えている。

3.2 陸上移動地球局の構成

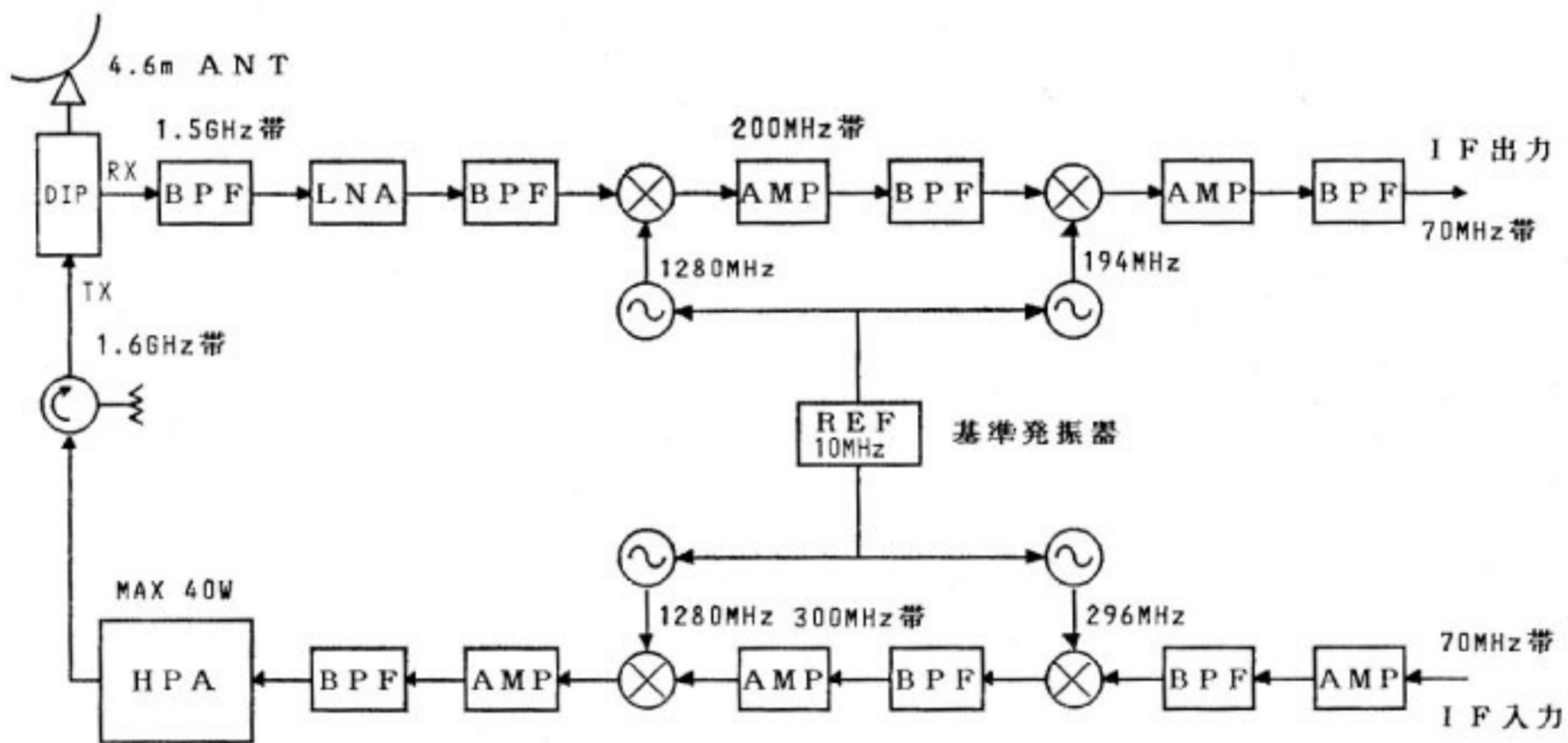
AUSSAT では、陸上移動地球局として、マイクロバ



Lバンド送信アンテナパターン (1545MHz)

Lバンド受信アンテナパターン (1646MHz)

第3図 ETS-V アンテナパターン



第4図 AUSSAT 基地地球局構成図

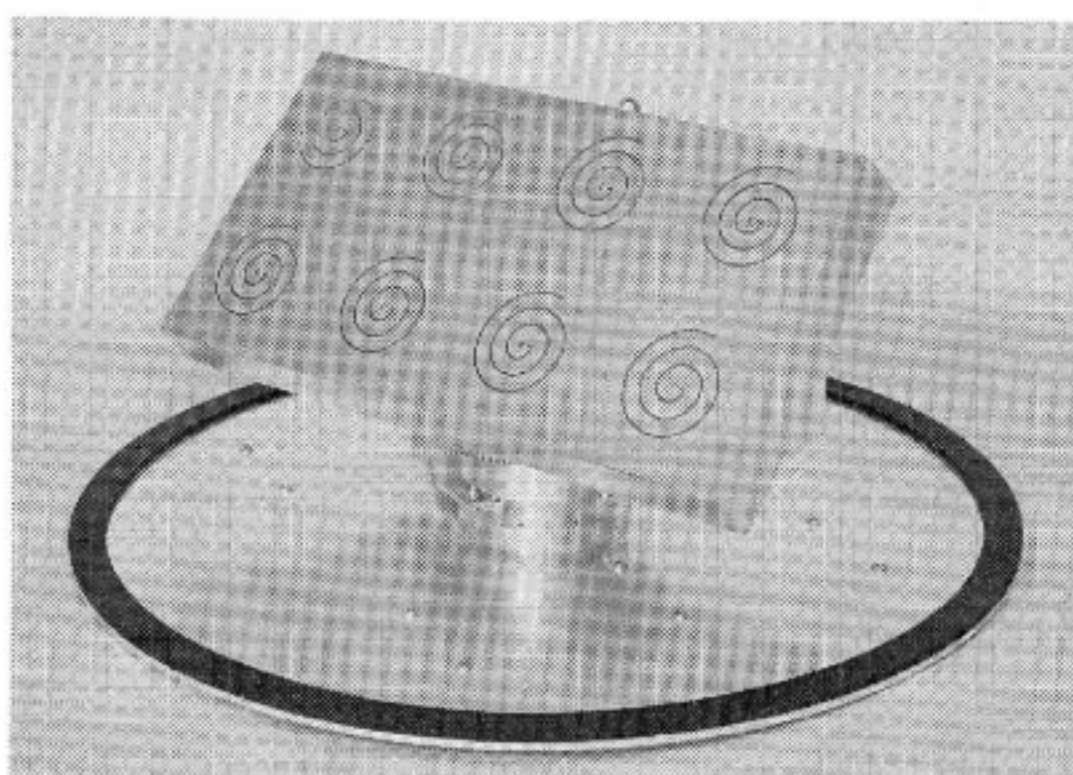
第1表 基地地球局諸元

アンテナ直径	4.6 m
アンテナ利得	受信: 35.5 dB 送信: 36.2 dB
受信給電系損失	1.24 dB
システム雑音温度	181.5K
G/T	11.67 dBK
送信給電系損失	2.49 dB
HPA 最大出力	46.5 dBm

スを改造した移動実験車を製作した。本地球局の構成は、主要の送受信系の装置は基地地球局と同様であり、共通の装置を用いることでメンテナンスが容易になって

いる。実際の通信実験時には、走行状態の記録のためにVTR やテープレコーダが搭載される。その他、伝搬特性の記録や走行時の符号誤り特性などの記録のためには、パーソナルコンピュータによるデータ収集システムが用いられる。

車載のアンテナとしては、12ないし15 dBi の機械駆動型追尾アンテナが用いられた。第5図に15 dBi のアンテナの構造を示す。これは、CRL と NEC の共同研究の一環として開発されたアンテナであり、8素子のバックキャビティ付のスパイラルアンテナのアレーになっている。12 dBi のものは素子を4個とし薄型化を図った構造になっている。AUSSAT は、AUSSAT-B による



第5図 15 dBi 機械駆動型アンテナ

第2表 基地地球局折り返し回線諸元

AUSSAT 基地地球局送信系	
IF 入力電力	-8.24 dBm
送信機入電力	-3.90 dBm
送信機出力電力	34.50 dBm
送信 EIRP	68.21 dBm
伝搬損失 (シドニー方向)	
自由空間損失 (1647.15 MHz)	188.13 dB
大気吸収損失	0.10 dB
衛星系	
Lバンド受信 G/T	-10.13 dBK
上り回線 C/N ₀	68.45 dBHz
DIP 送信出力電力	37.28 dBm
衛星 EIRP	55.18 dBm
伝搬損失 (シドニー方向)	
自由空間損失 (1545.15 MHz)	187.58 dB
大気吸収損失	0.10 dB
AUSSAT 基地地球局受信系	
受信 G/T	11.67 dBK
下り回線 C/N ₀	77.77 dBHz
総合 C/N ₀	67.97 dBHz
LNA 入力電力	-98.24 dBm
IF 出力電力	-30.98 dBm

実運用時には、車載用として10ないし12 dBiのアンテナの使用を検討しているため、コストを別にすれば後者のアンテナは実用の規格に近い物と言える。この他に車載用のアンテナとしては、AUSSATがニューサウスウェールズ大との共同研究で開発中である。

3.3 回線設計

第2表に基地局折り返し回線での回線計算例を示す。この回線計算では、衛星のアンテナ利得として打ち上げ前のデータからシドニーの位置の値を読み取り使用した。この回線設計から、基地局折り返し回線では、衛星送信電力最大で70 dBHz程度のC/N₀が得られることが分かる。

第3表に基地地球局と陸上移動地球局との双方向通信

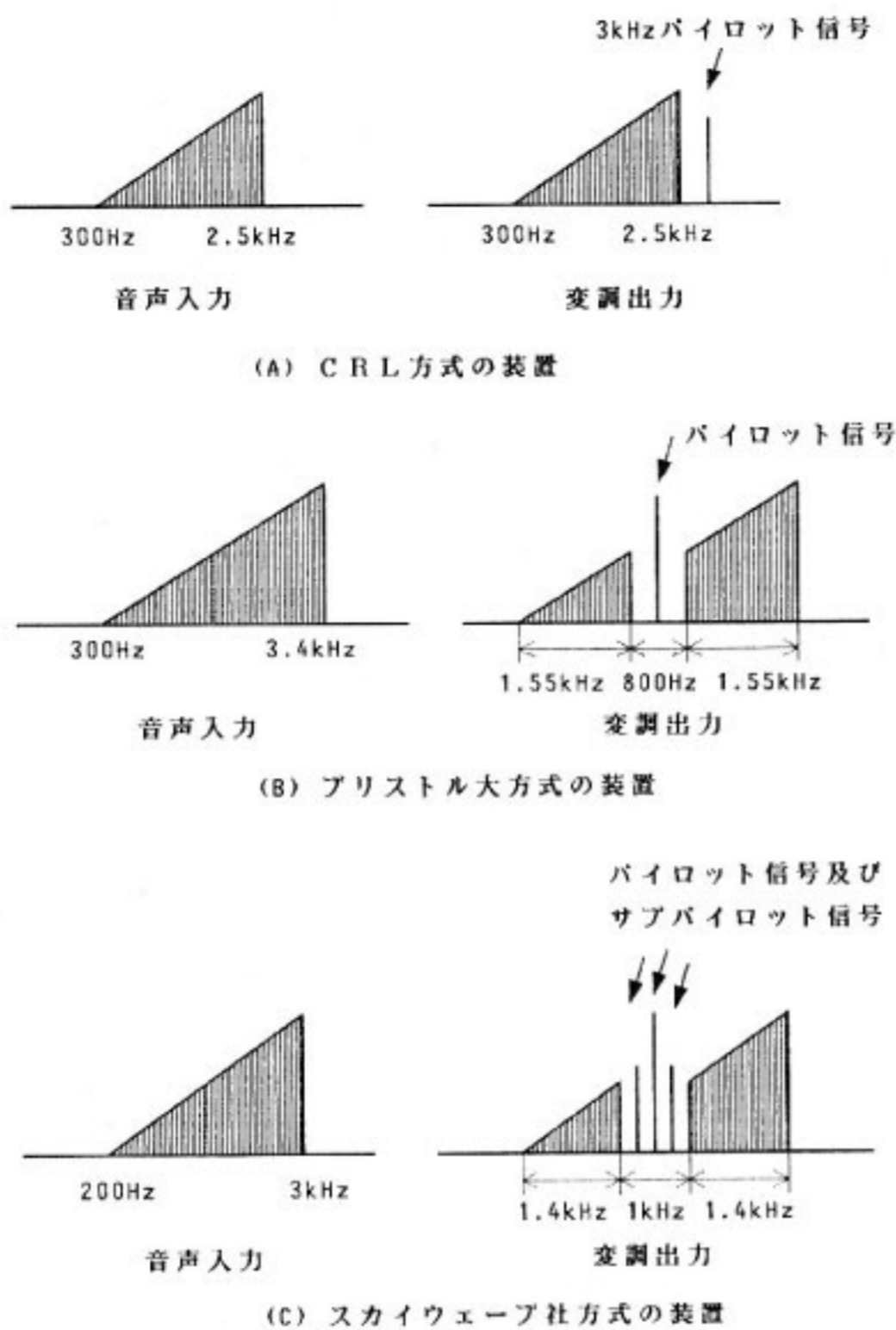
第3表 L-L折り返し双方向通信回線諸元

基地地球局→移動地球局	
AUSSAT 基地地球局送信系	
送信機出力電力	34.0 dBm
送信 EIRP	67.7 dBm
伝搬損失 (シドニー方向)	
自由空間損失 (1647.15 MHz)	188.1 dB
大気吸収損失	0.1 dB
衛星系	
Lバンド受信 G/T	-10.1 dBK
上り回線 C/N ₀	68.0 dBHz
DIP 送信出力電力	36.8 dBm
衛星 EIRP	54.7 dBm
伝搬損失 (シドニー方向)	
自由空間損失 (1545.15 MHz)	187.6 dB
大気吸収損失	0.1 dB
移動地球局受信系	
受信 G/T	-10.2 dBK
下り回線 C/N ₀	55.4 dBHz
総合 C/N ₀	55.1 dBHz
移動地球局→基地地球局	
移動地球局送信系	
送信機出力電力	46.0 dBm
送信 EIRP	60.0 dBm
伝搬損失 (シドニー方向)	
自由空間損失 (1647.15 MHz)	188.1 dB
大気吸収損失	0.1 dB
衛星系	
Lバンド受信 G/T	-10.1 dBK
上り回線 C/N ₀	60.3 dBHz
DIP 送信出力電力	29.1 dBm
衛星 EIRP	48.1 dBm
伝搬損失 (シドニー方向)	
自由空間損失 (1545.15 MHz)	187.6 dB
大気吸収損失	0.1 dB
AUSSAT 基地地球局受信系	
受信 G/T	11.7 dBK
下り回線 C/N ₀	70.7 dBHz
総合 C/N ₀	59.9 dBHz
総合衛星送信電力 (DIP 出力)	39.0 dBm

の回線設計例を示す。移動局アンテナ利得は15 dBiとして計算を行った。L-L回線による双方向通信であるから、Lバンド中継器は基地地球局から移動地球局へ(フォワードリンク)の信号と移動地球局から基地地球局へ(リターンリンク)の信号を同時に増幅する。従って、回線計算上も2波の合成電力が中継器の最大電力リミットを越えないようにしなければならない。

3.4 CRL-AUSSAT 共同実験概要

AUSSATでは伝搬特性についてはテキサス大と共同で衛星からのCW波を用いた電界強度測定実験を行った。通信実験に関しては、各種変復調方式について、



第6図 ACSSB装置の信号スペクトラム

CRL と共同で CRL の装置及び購入した装置等を用いて通話品質の評価実験を行った。変復調器は、3種とも ACSSB 方式で、CRL (CRL とケンウッドの共同開発の装置)、英国ブリストル大、スカイウェーブ社で開発された装置を使用した。第6図にそれぞれの ACSSB 装置の信号スペクトラムを示す。CRL/ケンウッドの装置はパイロット信号は音声帯域の上側にあるが、他の2台は TTIB (Transparent Tone In Band) 方式と呼ばれる音声帯域を上下2つに分離し中央にパイロット信号を

挿入した形式である。第4表に各装置の特徴の比較を示す。

まず、音声品質評価のために、標準音声テープを用いて ACSSB 信号を送信し受信側でカセットデッキで録音し品質比較用のテープを作成した。ただし、この方法では、道路走行中のフェージングによる影響を全ての測定走行で同一に再現することはできないので、各装置間の厳密な特性の比較評価は困難である。そこで、装置間の品質の差についてはフェージングシミュレータを用いて試験用テープを作成し聴感評価を行った。フェージングシミュレータは、Telecom Australia 社の Telecom Research Laboratory (TRL) で開発された装置を使用した。この装置はフェージングの変動を対数正規分布でモデル化したものである。

3.5 予備実験

各種の ACSSB モデムを使用して音声品質の評価を行う場合、比較検討の基準となる条件の設定が重要な問題である。ACSSB 方式の場合、基本的に振幅変調であるため、信号電力は音声信号によって変動する。従って送信電力を同一にする条件で比較しようとしても、どのような音声入力に対し送信電力を設定するか不明確となる。また、音声にコンパンドを使用して振幅の圧縮を行うため、この圧縮率によっても送信電力は異なってくる。送信電力を規定する場合、ピーク電力で規定する方法と平均電力で規定する方法があるが、ここでは多数は共通増幅による衛星の利用を考慮し、平均電力をパラメータとして各種のモデムの音声品質の評価を行うこととした。ACSSB 信号には音声成分の他に同期のためのパイロット信号も含まれているので、パイロット信号を含む送信信号の平均電力を実験に先立ち測定する。音声信号としては、試験用標準音声テープを再生し用い、音声入力レベルをそれぞれのモデムの最適動作点に設定した後、モデムの IF 出力の平均電力を求める。変動の伴う信号の

第4表 各 ACSSB 装置の特徴比較

	CRL/ケンウッド社	ブリストル大	スカイウェーブ社
音声周波数帯域	300 Hz~2.5 kHz	300 Hz~3.4 kHz	200 Hz~3 kHz
音声コンパンド	1:1, 2:1, 4:1 切り替え	1:1, 2:1, 4:1 切り替え	1:3
パイロット位置	上側付加 (3 kHz の位置)	中央付加 (TTIB)	中央付加 (TTIB)
パイロットレベル	音声ピークレベルより-6dB	音声ピークレベルより-10 dB	音声ピークレベルより-3 dB
サブパイロット	なし	なし	2波 (音声振幅情報)
チャンネル間隔	5 kHz	5 kHz	5 kHz
AFC 範囲	±1 kHz	±150 Hz	±25 kHz
検波方式	同期検波	FFSR*	FFSR*
雑音除去方式	なし	パイロットポンピング**	サブパイロットによる振幅制御

* FFSR : Feedforward Signal Regeneration パイロット信号を抽出し復調キャリアとして使用する。

**パイロットポンピング：無音時にパイロットレベル (6 dB) を上げることにより受信側 AGC で雑音が抑圧される。

電力測定のためスペクトラムアナライザと計算機を使用し信号をデジタル化し電力を積分して平均電力とする。この測定は TRL で測定された。

実験走行を行うときは、毎回上記のような測定を行うことは困難であるため、予め標準音声テープの先頭部分に平均音声レベルに相当する定振幅のテストトーン信号を録音しておき、送信電力及び相手地球局受信 C/N_0 の設定を行った。従って、上記の標準音声信号に対する平均電力の測定方法を用いて、予めテストトーン信号に対する平均電力を求め標準音声信号の電力との差を補正用ファクターとして各装置について求めておく。走行実験時はテストトーンを送信したときの相手地球局受信 C/N_0 に補正ファクターを加味し標準音声信号に対する C/N_0 を設定を行えばよい。

3.6 車両走行実験

車両走行実験は、シドニー郊外の東西に直線の道路約 6 km の区間で行った。道路の周囲は農業地帯であり、電柱及び樹木が主な遮蔽物である。直線の道路を用いたので、基本的にはアンテナの自動追尾機能は使用せず、走行中はアンテナは固定して用いた。アンテナとしては、基本的には 15 dBi の機械駆動追尾アンテナを用いたが、この他にも 12 dBi のヘリカルアンテナも用いた。

走行実験は、フォワードリンク（基地局から車載局）及びリターンリンク（車載局から基地局）の両方で行ったが、リターンリンクの方が最大受信 C/N_0 が高いので、音声評価用にはリターンリンクでの測定結果を用いた。走行時は、カセットデッキから標準音声を再生し、変調器に入力するとともに、走行中の周囲状況を録画するための VTR の音声チャンネルにも録音した。基地地球局側では、復調された音声信号をカセットデッキに録音した。 C/N_0 は、走行開始時にスタート地点で車載局の送信電力を調節して設定した。 C/N_0 としては、45, 48, 51及び 54 dBHz の 4 種に設定した。走行実験後、VTR で記録した走行状況の映像に基地地球局で録音された復調音声を追加し、VTR の再生画面を見ながら音声品質の変化を聞けるよう編集された。

3.7 実験結果及び問題点

3.7.1 フェージングシミュレータによる評価結果

TRL で実施されたフェージングシミュレータを用いた音声評価では、3 種の装置に対し、評価結果は、英国プリストル大の装置、CRL の装置、スカイウェーブ社の装置の順となった。これは、CRL の装置が低 C/N_0 での特性を重視して音声帯域を狭く設計してあり 2.2 kHz 程度となっているため、音質の劣化があることにも起因している。また、スカイウェーブ社の装置は、フェージング時の特性を重視し複雑な音声信号の圧縮処理

を行い聴感 S/N の改善を図っているが、そのため逆に C/N_0 がそれほど低くない領域で音質の劣化が生じていることが原因の一つである。プリストル大の装置は、TTIB 方式の基本的な装置構成を採っており、音声コンパンドも 1 対 2 と標準的であるため、良好な音質が得られたと考えられる。

3.7.2 走行実験結果

走行実験に使用した道路には、樹木が散在しており、時々シャドウイングが発生する状況下であった。人工物としては電柱が道路に添って立てられていることと送電線が道路を横切っている所が一箇所あった。地形としては緩やかな丘陵地帯で、牧草地及び畑地である。

実際の走行試験に先立ち各々の装置を用いて走行テストを行ったところ、プリストル大及びスカイウェーブの装置については多少問題が生じた。プリストル大の装置は、シミュレーションテストでは良好な特性を示したが、走行を行うと、クリック的な雑音が発生し音声品質評価が困難であった。シャドウイングがない場合も雑音の発生があるため、走行時の車両の振動等の影響が考えられる。スカイウェーブの装置に関しては、本装置が全二重回線での使用を前提にして設計されており、初期接続から開始して双方向の回線が確立されるようになっているため、かえって問題になった。この場合、音質評価に使用するリターンリンクだけでなく、フォワードリンクも回線確立のため必要である。また、シャドウイングで信号が途絶えると自動的に回線断の制御がなされるため、回線断になるまでの保留時間のパラメータを長く設定することで回線制御動作を止める必要があった。

音声品質は、同一条件での比較が困難であるため、単に VTR に記録された映像及び復調音声を視聴して印象を聞く程度の評価を行った。その結果、プリストル大の装置はクリック雑音を除けば音声品質は良いが、振動等の問題があり、評価は困難であった。CRL 及びスカイウェーブの装置については、双方とも C/N_0 が 51 dBHz 程度あれば慣れた人なら十分実用可能、45 dBHz でも理解できる品質であった。音質としては、スカイウェーブ社の物が少しごろごろとした音質となるのに対し、CRL の装置は狭帯域化のための品質の変化はあるものの、比較的素直な音質であった。

両者の大きな違いは、シャドウイングの時に顕著であった。CRL の装置は、 C/N_0 が下がると雑音が増加していくため、シャドウイングで信号が途絶えた瞬間にザツという音が出て聴感上問題となった。一方、スカイウェーブ社の装置は C/N_0 が下がっても雑音が出ないようになっている。この装置は同期用のパイロット信号の他

に音声の振幅情報を示すサブパイロット信号を使用している。そのためサブパイロットがシャドウイングによって受信できなくなると音声出力もなくなる。従って、シャドウイングでの雑音発生はなく無音になるだけである。これは聴感上非常に有効な改善となる。

3.7.3 ACSSB 装置の問題点

(1) ピーク電力の問題

本実験においては、3種のACSSB装置を比較検討するために、平均電力を用いて品質の評価を行った。しかし聴感S/Nの改善のための音声コンパンドの圧縮比も異なるため、平均電力を同一に設定してもピーク電力は異なる。衛星中継器で多数の通信信号を共通増幅する場合は、平均電力は意味があるが、移動地球局の送信機では、自局の送信信号1波のみを増幅し、そのピーク送信電力が問題になる。従って、ピーク電力と平均電力の差が大きいACSSB装置では、移動局から送信できる平均電力が低くなり圧縮比の大きい方式に対し不利になる。一方圧縮比が大きいと音質の劣化も大きくなるため、適度な圧縮比を更に検討する必要がある。

(2) 音声帯域の問題

CRLの装置は、基本的に回線条件が悪い状況での動作を重視したため、音声帯域を狭く設計された。しかし実用化を考えた場合、GⅢファックスの信号を通す用途が考えられ、CRL装置ではこの要求に答えられなくなってしまふ。従って音声帯域は、300 Hz～3.4 kHzの帯域があることが望ましい。

(3) 雑音の低減

ACSSB方式は、低C/N₀まで堪え得る通信方式として検討されている。しかし、限度以上に動作させるとシャドウイングで衛星からの信号が途絶えた時、AGC回路の動作によって受信系の利得が上昇し、復調出力に大きな雑音が発生する。この雑音は非常に耳障りであり改

善の必要がある。スカイウェーブ社の装置のようにサブパイロット信号を利用する方法もあるが、簡易には、復調限界を定めミュートングを行うなどの処理が必要である。

4. ま と め

オーストラリアで実施した本共同実験では、実用化を考慮し現在使用可能なACSSB方式の通信装置の音声品質の評価が主目的であった。そのため、細かなC/N₀対S/N特性などの解析は行わず、聴感評価が主体であった。各装置が開発中であることもあり動作等に不安定な点もあり厳密な評価が困難であったが、実用化に向けては、雑音の処理など改良すべき点も明らかになった。アンテナについても実験時には追尾動作を止めて用いたが、これは一旦シャドウイングで追尾機能が動作出来なくなったとき、サーチモードに入るとさらに回線断が長引くためである。実用化に際しては一時的な方向維持の機能などが必要である。

謝 辞

本共同実験の実施にあたりオーストラリア及び日本の外務省をはじめ郵政省等多くの機関の方々に多大な助力を得られたことに感謝致します。

参 考 文 献

- (1) K. Dinh, R. DiBartoro and R. Suzuki, "MOBILE SATELLITE EXPERIMENTS IN AUSTRALIA WITH THE ETS-V SATELLITE", IREECON, Sep. 11-15, 1989, Melbourne Australia.
- (2) "MOBILESAT TECHNICAL SPECIFICATIONS MOBILESAT SYSTEM DESCRIPTION", AUSSAT MOBILESAT Sep. 12, 1989.

