

4.2 高度移動体衛星通信実験 衛星搭載機器の開発

4.2.1 高度移動体衛星通信実験 搭載機器の概要

峯野 仁志*¹ 大内 智晴*¹ 磯部 俊吉*²
 吉本 繁壽*³ 島田 政明*⁴ 内藤 秀之*⁵

(1996年11月14日受理)

4.2 DEVELOPMENT OF THE ON-BOARD EQUIPMENT FOR THE ADVANCED MOBILE SATELLITE COMMUNICATIONS EXPERIMENTS

4.2.1 OUTLINE OF THE ON-BOARD EQUIPMENT FOR THE ADVANCED MOBILE SATELLITE COMMUNICATIONS EXPERIMENTS

By

Hitoshi MINENO, Chiharu OHUCHI, Shunkichi ISOBE,
Shigetoshi YOSHIMOTO, Masaaki SHIMADA, and Hideyuki NAITO

In future mobile satellite communications, it is supposed that mobile personal stations and vehicle-mounted stations will communicate directly rather than through a base station. That would make it a necessary condition for satellites to have a switching function. Moreover, without base stations, some means of maintaining link quality would be needed. The advanced mobile satellite communications equipment (MCE) on-board the COMETS includes two types of transponders, a regenerative transponder and a filter-bank transponder, to help solve these issues.

As for the beam arrangement, two adjacent beams will be used in the Ka band, one for the Kanto region and one for the Tokai region. This gives careful condition to demonstrate the feasibility of switching between beams. There is also a millimeter-wave transponder for development of new frequencies.

In this report, we describe the configuration of the transponders in the Ka/millimeter-wave band MCE and summarize their features, functions, and performance. The antenna and transponders will be covered in detail in the papers that follow this one.

[キーワード] 衛星通信, 通信放送技術衛星, マルチビームアンテナ, フィルタバンク, 再生中継器, パーソナル通信. Satellite communications, COMETS, Multi-beam antenna, Filter bank,

*¹ 宇宙通信部 衛星通信研究室
 *² 郵政研究所 技術開発研究センター
 *³ 総合通信部 通信系研究室
 *⁴ 宇宙開発事業団 軌道上技術開発システム本部
 通信放送衛星グループ
 *⁵ 標準計測部 測定技術課

1. はじめに

我が国の国内衛星通信の分野では、「さくら」を初めとしてJCSAT, スーパーバードが打ち上げられ, 基幹回線や地上系の補完だけでなく VSAT (Very Small

Aperture Terminal) の多様な利用, CS デジタル放送など新しいサービスが提供されるようになった。衛星通信が身近なものになって来たことにより, 新たに移動体通信など衛星通信の特徴を生かした新しいシステムの開発が求められている。

静止衛星を用いた移動体衛星通信の分野では, INMARSAT により Lバンドで主に船舶, 航空機を対象としてサービスが行われており, 需要が増大している。我が国においては ETS-V を用いた Lバンドの移動体衛星通信実験が行われ, 実用化のための基礎技術の開発を行ってきた。現在, L/Sバンドを使用する移動体衛星通信は, オーストラリアで利用が開始されたほか, 日本 (N-STAR), 米国, カナダ等各国においても実用化が進められている。また, Kaバンド以上の高い周波数を用いる移動体衛星通信技術についても, 米国は Ka 帯の中継器を搭載した ACTS (Advanced Communications Technology Satellite) 衛星を 1993 年に打ち上げ, 移動体衛星通信システムの技術開発を行っている。我が国でも ETS-VI を用いたミリ波帯パーソナル衛星通信の基礎実験が行われている。

さらに, 静止衛星のように大きな伝搬遅延がなく, 小型のハンディな端末が利用できる低軌道周回衛星を多数用いた移動体衛星通信システムの提案が行われ, 実用化をめざして開発が進められている。

これらの研究開発動向を考慮すると, 次世代の衛星通信の在り方として, VSAT 等の固定衛星通信と移動体衛星通信等の境界を取払い, それらを統合化した, より身近で経済効率の高い衛星通信システムが考えられる。このシステムでは, 携帯局や移動局間の直接通信を可能にし, さらに低速データから高速画像データまで種々の情報を直径数 cm~数 10cm 程度のアンテナを持つ小型な地球局間で自由に伝送することができる。このように利用者の利便性を大きく向上させることにより, 利用者が限られていた衛星通信もパーソナル利用が可能となる。

多数の利用者が予想されるマルチメディア情報のパーソナル衛星通信を実現するためには新たに多くの技術開発が必要である。特に, 現在の L/Sバンドでは狭帯域でしか利用できず, 周波数資源もひっ迫している。多数の局で広帯域伝送が可能な Kaバンド以上の高い周波数の利用技術が必須である。さらに, 高い周波数を利用することにより, 容易に高利得アンテナを衛星に搭載することができ, 地球局アンテナの小型化が可能となる。しかし, 高利得アンテナはビーム幅が狭いため, マルチビームアンテナの開発, オンボード交換・ビーム間接続技術等の開発が必要になる。

COMETS では, これらの技術開発を目的として, 周

波数資源開発のために Ka 帯・ミリ波帯のマルチビームアンテナを採用し, 再生中継器とフィルタバンク中継器によるオンボード交換・ビーム間接続の実現を図った。

本報告では COMETS の高度移動体衛星通信実験機器 (MCE) 中継器の構成やその特徴, 機能, 性能の概要を述べる。なお, アンテナや中継器の機能・性能については以下に続く他の論文で詳細に述べることにし, ここでは特徴, 全体構成, 中継器全体としての機能・性能および周波数について述べるにとどめる。

2. 高度移動体衛星通信ミッション機器の特徴

高度移動体衛星通信システムでは, 各種通信サービスを小型な携帯局や車載局間で直接行うことをイメージしている。このようなシステムでは地球局のアンテナ径や送信電力の低減化を図り, かつ広いサービスエリアを確保するために衛星搭載アンテナを高利得化したマルチビームアンテナが必要となる。

周波数帯の選択に当たっては, Lバンドの周波数資源がひっ迫している現状から次世代の移動体衛星通信にふさわしい新しい周波数資源として, また地球局と衛星搭載アンテナの小型化が容易でもある Ka 帯/ミリ波帯を用いることとした。これらの周波数は, 降雨減衰が大きいものの, 移動体衛星通信としてはこれから開発される帯域であり, 膨大なユーザ収容能力と柔軟な運用が可能である。

アンテナビームの配置に当たってはビーム間切り替えを考慮した。移動中の局があるビーム照射範囲から他のビーム照射範囲に移動したときには, 通信を途絶えさせることなくビームの切り替え操作が行われなくてはならない。その実証のために Ka 帯では関東ビームと東海ビームの 2 つの隣接するビームを持っている。それに新しい周波数資源開発のためのミリ波帯関東ビームと合わせ, 3 ビーム構成とした。

また基地局を置かずに小型局同士の直接通信を行うために, 回線品質を保つための工夫が必要となってくる。COMETS の MCE では, スルーリピータ方式の一種であるフィルタバンク中継器と, 衛星上で元の信号の復調・変調を行う方式の再生中継器の 2 種類の中継器を搭載し, これらの課題に対応している。

COMETS の MCE では将来システムの実現に必要な次のような要素技術の開発を目的としている。

- ・車載局, 携帯局, 超小型 VSAT 局間の直接衛星通信
- ・Ka/ミリ波帯機器の開発
- ・マルチビームに対応したビーム間接続技術
- ・回線制御機能を含む再生中継方式

MCE 中継器を開発するに当たって定めた主要諸元を

第1表に示す。

3. 中継方式の特徴

上で述べたように、COMETSのMCE中継器ではフィルタバンク中継器と再生中継器の2方式を採用した。これらの中継器の特徴を第2表に一覧表として示すとともに、順に見ていくことにする。

3.1 フィルタバンク中継器の特徴

今までの通信衛星は、高速大容量化を目指して開発されることがほとんどであったが、COMETSのMCEでは移動体衛星通信に特化して中継器を開発した。まずスルーリピータ方式の中継器であるフィルタバンク中継器について述べる。

移動体衛星通信では、小型の地球局で通信を行うために、衛星のビームを絞り（マルチビーム化）、地球局及び衛星の電力利用効率を高めることが必須となる。異なるビームとの通信にはビーム間接続が要求されるが、今

までの移動体同士の衛星通信では地上に交換機能を持った基地局を設置し、移動体局-基地局-移動体局の2ホップで通信を行っていた。この方式では伝搬遅延時間が問題となる。COMETSでは基地局を介さずに1ホップで移動体同士の衛星通信を行うために、衛星にビーム間接続機能を持たせることにした。

さらに移動体衛星通信の目的を考えると、“いつでも”、“どこでも”、“誰とでも”通信を行えることが第一義であり、音声や文字等の小容量通信で用が済む場合がほとんどである。また、中継器利得を高くすると地球局のアンテナ径や送信電力を小さくできるが、利得を高くしすぎると衛星送信電力にしめる雑音電力が増すため、利得と帯域幅を適切に設定することが大切である。移動体衛星通信実験では種々の伝送方式を用いるために、比較的広帯域な信号を伝送するための6MHzと狭帯域を伝送するための500kHzの2種類のフィルタを用意することにした。

これらのバンドパスフィルタを中間周波数（IF）帯でマトリクス状に組んでおき、各チャネル毎にビームを対応付けすることにより、上り回線の周波数を選んでやることによって下り回線のビームを切り替えられるようにした。フィルタバンクの動作概念図を第1図に示す。

3.2 再生中継方式の特徴

もう一つの方式である再生中継方式とは、衛星上にMODEMとCODECを搭載して、受信信号の復調・復号を行い（再生）、元の信号に戻してから、再び符号化・変調を行って衛星から送信する方式である。概念図を第2図に示す。この方式を用いることにより、上り回線と下り回線が、回線設計上完全に独立したものとなり、スルーリピータに比べて最大で3dBのC/N₀改善が図れるため、携帯地球局の送信出力低減に役立つ。また、一度ベースバンド信号にすることにより回線交換が容易になり、大型のハブ局を介さずに小型地球局間同士で1ホップ通信を行うことも比較的容易になる。また、移動体衛星通信を行う場合の上り回線の送信レベル変動の影響を受け難く、これも再生中継の利点となる。こうした機能

第1表 MCE中継器の主要諸元（設計値）

アンテナ	Ka/ミリ波帯共用スポットビームアンテナ (衛星間通信用フィードリンクアンテナと共用) 直径: 2m 偏波 上り: 右旋 下り: 左旋 アンテナ指向制御機能
ビーム	Ka帯関東ビーム : (30.772 GHz/21.000 GHz) Ka帯東海ビーム : (30.828 GHz/21.056 GHz) ミリ波帯関東ビーム : (46.886 GHz/43.764 GHz)
中継方式	IF中継: 2×2フィルタバンクによるビーム間接続 広帯域フィルタ(6 MHz)及び 狭帯域フィルタ(500 kHz)各1/系統 再生中継: SCPC(上り)/TDM(下り)2系統 ベースバンド交換、8チャネル/系統 BPSK 24 kbps または 4.8 kbps FEC on/off
中継器	Ka帯 2系統、ミリ波帯 1系統、 帯域: 向中継方式合わせて36 MHz/系統
送信機	Ka帯 関東ビーム用SSPA 20W(単体出力) 東海ビーム用SSPA 10W(単体出力) ミリ波帯 TWTA 20W(単体出力)
G/T (ビーク方向)	Ka帯関東ビーム : 20.4 dB/T Ka帯東海ビーム : 17.1 dB/T ミリ波帯関東ビーム : 20.9 dB/T
EIRP (ビーク方向)	Ka帯関東ビーム : 60.3 dBW Ka帯東海ビーム : 51.0 dBW* ミリ波帯関東ビーム : 63.5 dBW

*: 出力スイッチを標準の状態にした時の値

第2表 ビーム間接続方式の特徴

	SCPC/TDM再生中継	IFフィルタバンク
方式	複数のSCPC信号を復調後TDMで多重化する際に接続	フィルタによる周波数分割でビーム間接続
長所	地球局送信電力小 衛星上で回線制御が可能	任意の通信方式の伝送が可能
短所	通信方式は固定 伝送速度は固定 チャネル数に制約	ビーム数の2乗に比例してフィルタが必要 回線制御を衛星上で行えない
COMETS搭載機器の特徴	ポリフェーズFFTフィルタバンクを用いたデジタルグループ復調方式による小型化	SAWフィルタの採用 広帯域フィルタ(6 MHz)および狭帯域フィルタ(500 kHz)

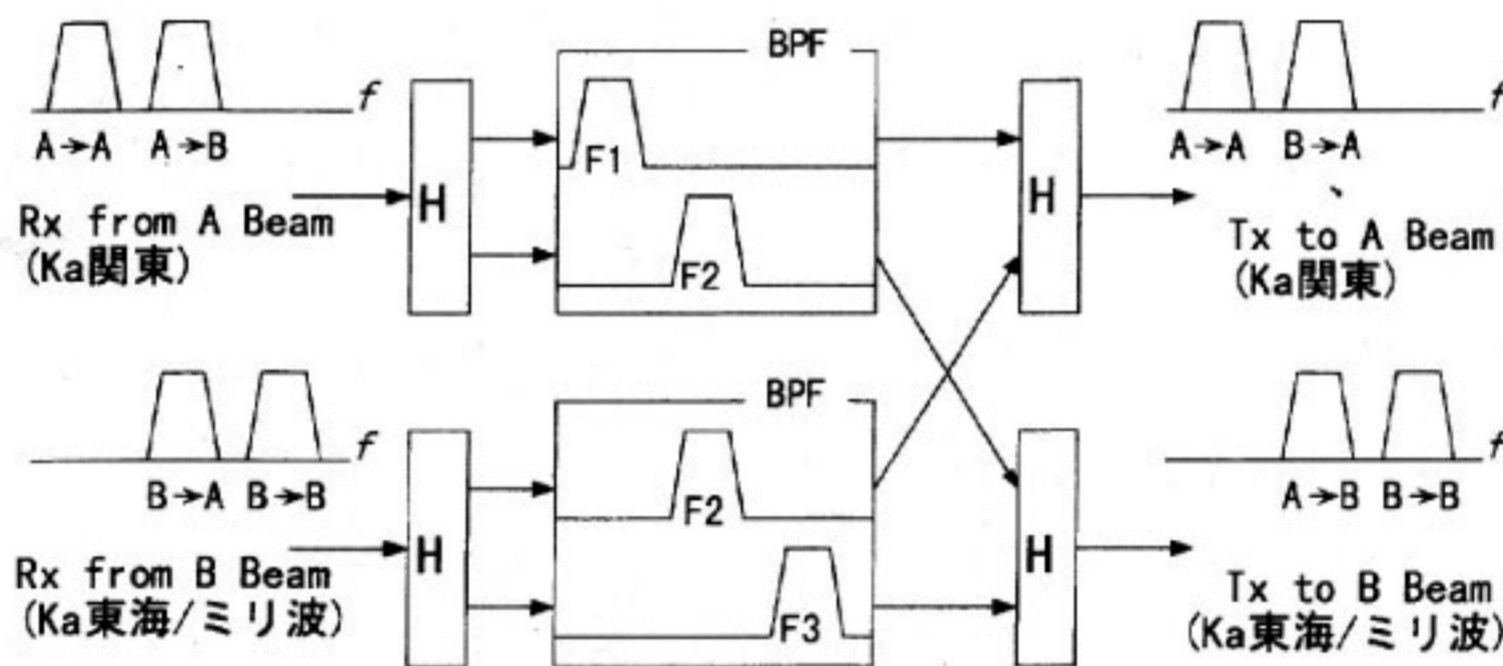
や特徴は、近年、発展の著しい携帯電話や PHS で実現され始めた“通信のパーソナル化”，“移動体化”を衛星通信で実現するために適したものである。

さらに、再生中継方式には、上り回線の変調方式と下り回線の変調方式をそれぞれの目的や回線品質に応じて、最適のものに独立に設定できるという利点もある。COMETS の再生中継器では多元接続方式に SCPC/TDM 方式を採用した。SCPC/TDM 方式とは、上り回線に SCPC を下り回線に TDM を用いる方式であり、上りと下りにこの組み合わせの多元接続方式を用いる再生中継器は世界初となる。上り回線の SCPC は携帯地球局などの送信出力を TDMA 方式に比べて低く抑えられ、機器の小型化に役立つ。下り回線の TDM は 1 波送信にできるので、衛星の増幅器を飽和領域で動作させることができ、衛星送信電力を有効に使える。このことも回線設計を楽にし、地球局機器の小型化につながる。

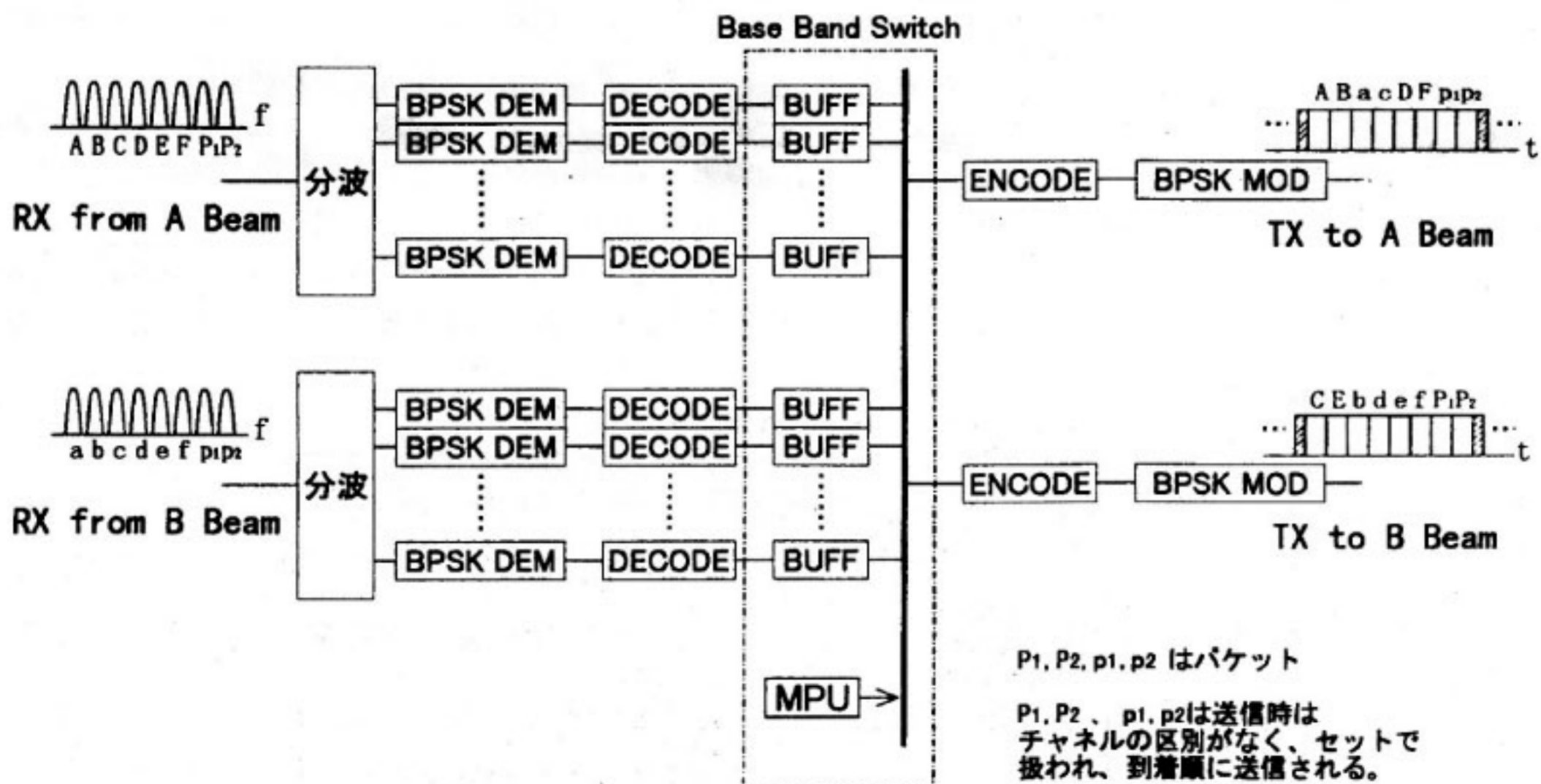
回線接続等のベースバンドの信号処理に COMETS では MPU を用いており、プログラム（回線制御プロトコル）には、移動体衛星通信を考慮した回線制御の特徴を持たせてある。このプログラム自体も、衛星打上げ後に地上から新たなプログラムを送って、置き換えることも可能である（ダウンロード機能）。

4. MCE 中継器の全体構成と動作概要

COMETS に搭載される高度移動体衛星通信用アンテナは直径 2m 相当のオフセットグレゴリアンアンテナである。衛星搭載重量の制限から、宇宙開発事業団 (NASDA) が開発した衛星間通信用フィーダリンクアンテナと共用になっている。給電部に複数の 1 次放射器を置くことにより、高度移動体衛星通信実験用として Ka 帯では関東ビーム及び東海ビームの 2 ビーム、ミリ波帯では関東ビームの 1 ビームを形成している。



第 1 図 フィルタバンク中継方式の動作概要



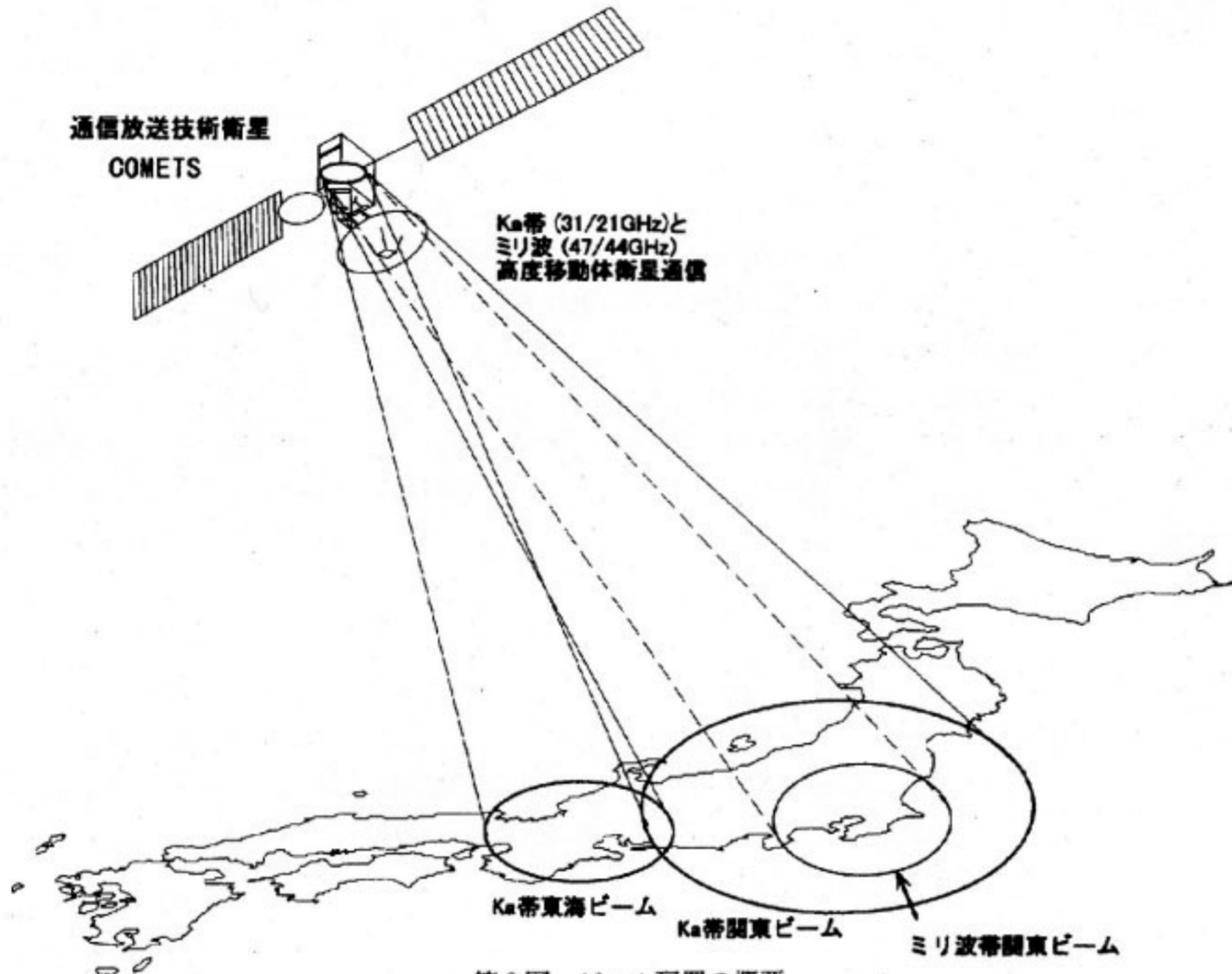
第 2 図 再生中継方式の概要

アンテナの指向方向の制御は、筑波局 (NASDA) からのモノパルス信号により副反射鏡を制御することで行われる。アンテナのビーム中心は、関東ビームが筑波、東海ビームが名古屋付近である。東海ビームの給電部は、関東ビームとのクロスオーバー点の利得が大きくなるよう配置したため、ビーム中心でのアンテナ利得が低下し、

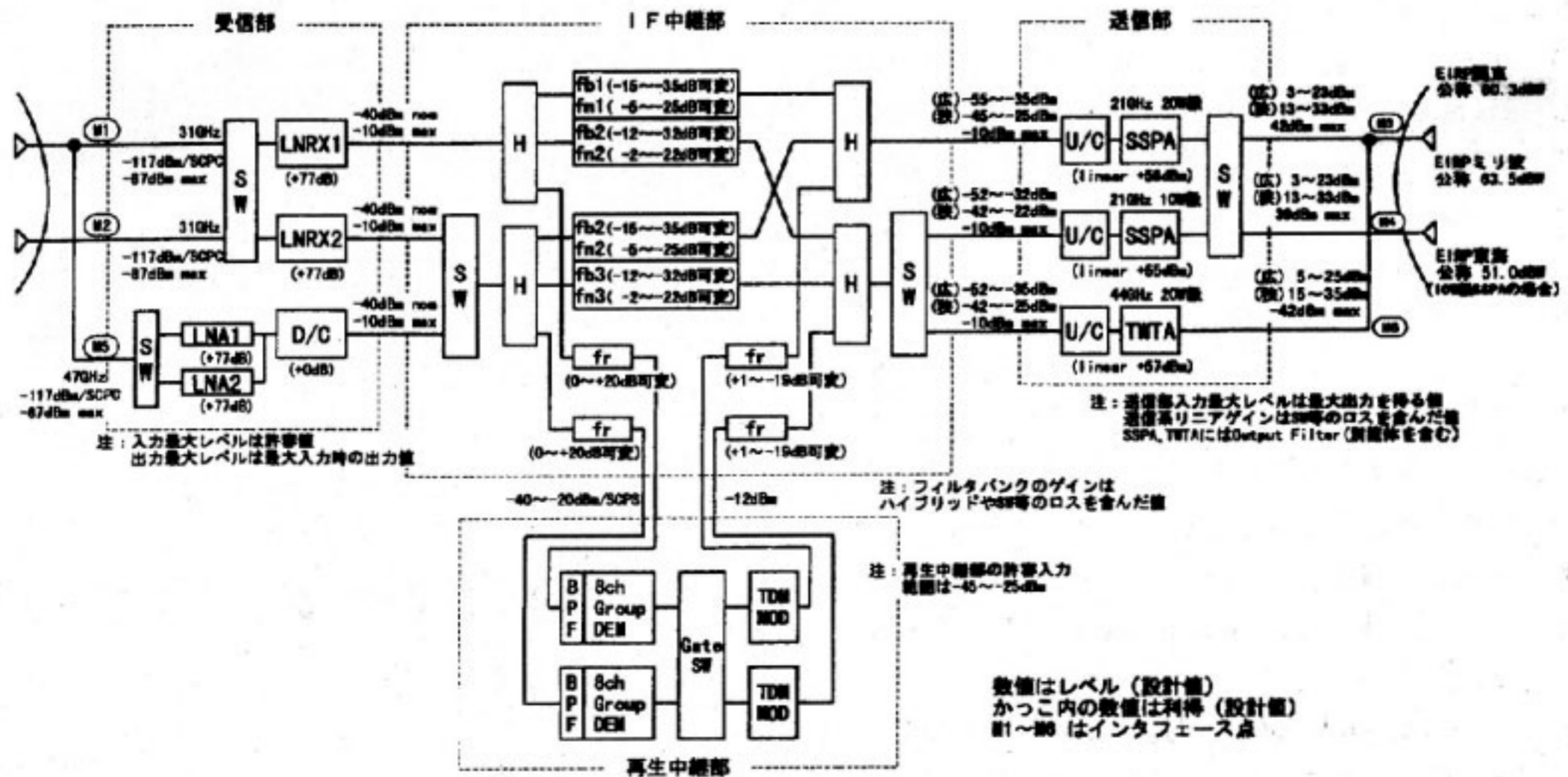
関東ビームに比べアップリンクで3.2dB、ダウンリンクで5.7dB (いずれも PFM の試験結果) 利得が少ない。3ビームの位置関係の概略を第3図に示す。

中継器は大きく受信部、IF 中継部、再生中継部、送信部に分けられる。構成を第4図に示す。

受信部、送信部の特徴としては、ミリ波受信部の



第3図 ビーム配置の概要



第4図 中継器構成図

LNA2に新開発で低雑音のスーパー HEMT を用いたことと、Ka 帯出力増幅器に MMIC による高出力増幅チップを 16 合成した 20W SSPA を採用したことである。

再生中継器では、複数の移動局からの SCPC 信号をデジタル処理による一括分波/個別復調によってベースバンド信号にし、MPU を用いたベースバンドスイッチによりビーム間接続を行い、TDM 信号に多重化して送信する。1 ビーム当たり 8ch の回線容量があり、中継器の交換機能により任意のビームに信号を中継することができる。8ch の内訳は 6ch が連続信号用で 2ch がパケット信号用である。伝送速度は 24kbps と 4.8kbps を切換えて使用できる。また、拘束長 7、符号化率 1/2 の畳み込み符号による誤り訂正機能を有しており、コマンドにより使用の ON/OFF を選択する。

IF 中継部（フィルタバンク）では広帯域及び狭帯域の SAW フィルタ群により送受信 IF 信号が接続され、スルーリピータとして通信が行われる。衛星搭載機器の重量制限から IF 中継器のフィルタバンク及び再生中継器が 2 系統しか搭載できなかったため、Ka 帯とミリ波帯はスイッチにより切り替えて使用することになった。Ka 帯関東ビームと東海ビームの切り替えスイッチが入力側と出力側に入っており、万が一搭載装置が故障したときにも信号のルートを切り替えて通信実験が継続して行えるようにしている。また、再生中継器は IF 中継器のフィルタを通して接続される。再生中継器の入出力にはアッテネータが設けられており、コマンドにより 2dB ステップで最大 20dB 可変できる。

スルーリピータ方式においては、中継器利得を高くすることによって移動体地球局のアンテナ径を小さくすることができる。しかし、利得を高くすると衛星送信電力に占める雑音電力の割合が増加するため、利得と帯域幅を適切に設定することが必要である。COMETS 実験では種々の伝送速度を用いるので、帯域幅については画像など比較的広帯域な信号を伝送するための 6MHz と狭帯域信号を伝送するための 500kHz の 2 種類を用意した。使用するフィルタはアップリンク周波数により選択する。中継器利得は、回線設計や、衛星送信電力のうち何%まで雑音成分を許容するか等を考慮して決める。搭載中継器内で発生する雑音を考慮し、利得の可変範囲は広帯域チャンネルが 120~140dB、狭帯域チャンネルが 130~150dB である（仕様値）。利得はコマンドにより 2dB ステップで変更可能である。

COMETS には高度移動体衛星通信実験のためのビーコン送信機が搭載されていない。そのため、移動体局のアンテナ指向制御及び周波数追尾用に主局（あるいは副

局）から広帯域チャンネルにパイロット信号としてキャリアを送信する必要がある。

5. 周波数配置

MCE では中継器の帯域をバンドパスフィルタによって分割するフィルタバンク方式を採用しているため、周波数毎に接続ビームが異なっている。その様子を衛星の IF 帯で図示すると第 5 図のようになる。この図で、 f_n 、 f_b はそれぞれ狭帯域フィルタ、広帯域フィルタの中心周波数を表わし、添え字の 1~3 はフィルタの番号を表わしている。 f_r は再生中継器の中心周波数である。

Ka 帯関東ビーム、Ka 帯東海ビーム、ミリ波ビームでのそれぞれの入出力の周波数とビーム接続との対応を第 3 表に示す。

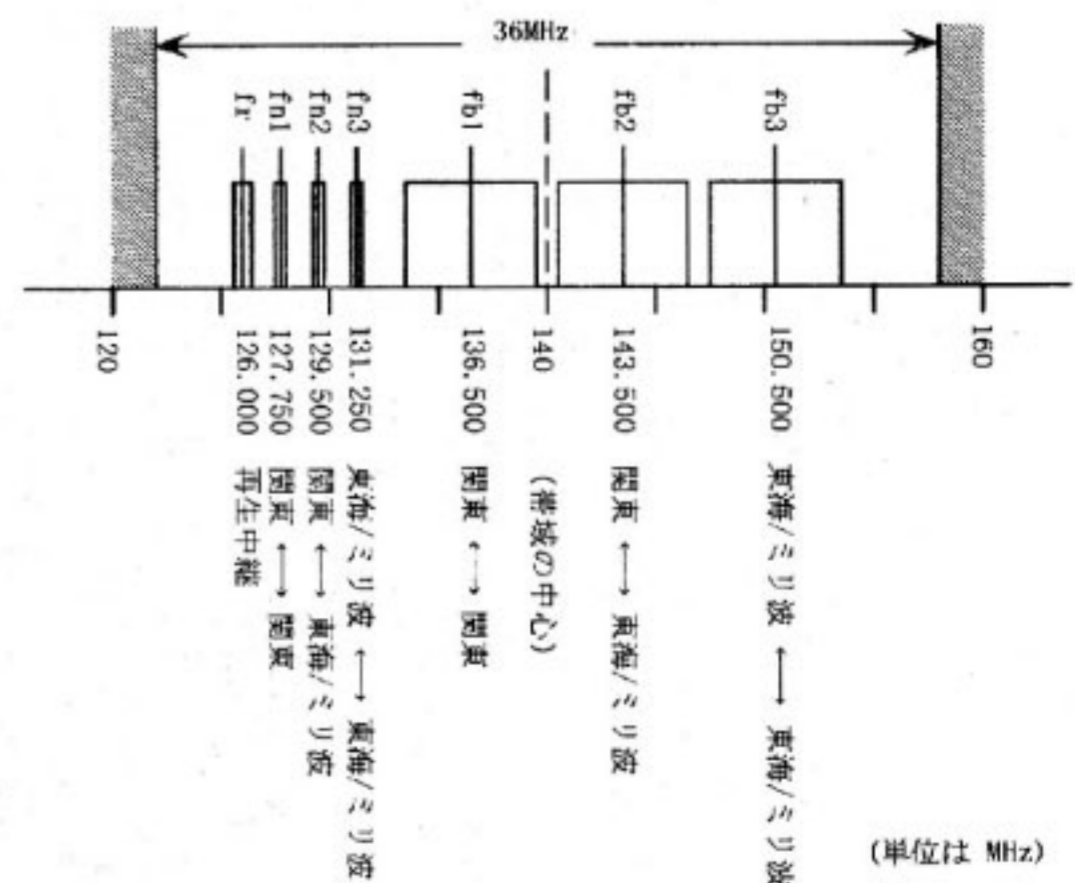
6. おわりに

本論文では、COMETS の MCE 中継器開発における設計方針や特徴を述べた。また、衛星としての重量制約から、他の機器との共用や機能の縮小を行ったことについても触れが、これらは実験を成立させる上で支障にならない範囲で行われた。アンテナや中継器の機能・性能は以下に続く他の論文で詳細に述べることにし、ここでは設計に当たったの諸元を述べるにとどめた。

MCE 実験は、次世代の移動体衛星通信の要素技術を解決していくのに不可欠のものであり、多くの成果が期待される。

謝 辞

BCTS から COMETS に至るまで計画、開発、調整に携わって来られた郵政省、科学技術庁、通信総合研究所、宇宙開発事業団の関係各位に感謝いたします。また、



第 5 図 IF 帯周波数配置

第3表 入出力周波数とビーム間接続

	フィルタ	上り回線 (GHz)			下り回線 (GHz)			帯域幅		
		関東	東海	ミリ波	関東	東海	ミリ波			
帯域中心周波数		-	30.772	30.828	46.886	21.000	21.056	43.764	±18MHz	
フ	関東→関東	広帯域	fb1	30.76850	-	-	20.99650	-	-	±3MHz
		狭帯域	fn1	30.75975	-	-	20.98775	-	-	±250kHz
イ	関東→東海	広帯域	fb2	30.77550	-	-	-	21.05950	-	±3MHz
		狭帯域	fn2	30.76150	-	-	-	21.04550	-	±250kHz
ル	関東→ミリ波	広帯域	fb2	30.77550	-	-	-	-	43.76750	±3MHz
		狭帯域	fn2	30.76150	-	-	-	-	43.75350	±250kHz
タ	東海→関東	広帯域	fb2	-	30.83150	-	21.00350	-	-	±3MHz
		狭帯域	fn2	-	30.81750	-	20.98950	-	-	±250kHz
バ	ミリ波→関東	広帯域	fb2	-	-	46.88950	21.00350	-	-	±3MHz
		狭帯域	fn2	-	-	46.87550	20.98950	-	-	±250kHz
ン	東海→東海	広帯域	fb3	-	30.83850	-	-	21.06650	-	±3MHz
		狭帯域	fn3	-	30.81925	-	-	21.04725	-	±250kHz
ク	ミリ波→ミリ波	広帯域	fb3	-	-	46.89650	-	-	43.77450	±3MHz
		狭帯域	fn3	-	-	46.87725	-	-	43.75525	±250kHz
再生中継		fr		30.758	30.814	46.872	20.986	21.042	43.750	±400kHz

Ka 帯入出力スイッチを標準の状態にした場合

厳しいスケジュールの中で MCE の開発を担当していただいた日本電気(株)、三菱電機(株)、並びに関連メーカーの関係各位に感謝いたします。

参考文献

(1) 内藤秀之, 磯貝光雄, 川又文男, 磯部俊吉, 大森慎吾, "COMETS 計画における高度移動体衛星通信実験システム," 信学技報, SANE93-28, pp.27-33, 長岡科学技術大学, August 1993.
 (2) S.Isobe, H.Naito, M.Takeuchi, M.Isogai, F.Kawamata, and S.Ohmori, "Experimental advanced mobile satellite communications system in MM-wave and Ka-band using

Japan's COMETS," Journal of CRL, Vol. 41, No. 1, pp. 9-17, March 1994.

(3) 磯部俊吉, 浜本直和, 内藤秀之, 竹内誠, 磯貝光雄, 川又文男, 大森慎吾, "COMETS を用いた Ka, ミリ波帯高度移動体衛星通信実験システム," 信学論, B-II, Vol. J78-B-II, No. 2. pp.41-51, February 1995.
 (4) S.Isobe, F.Kawamata, H.Naito, N.Hamamoto, and S.Ohmori, "Regenerative transponder of COMETS for advanced mobile communications experiments," ICUPC '93, pp. 309-313, Ottawa, October 1993.



峯野 仁志
 Hitoshi MINENO
 宇宙通信部 衛星通信研究室
 衛星通信
 E-Mail: mineno@crl. go. jp



大内 智晴
 Chiharu OHUCHI
 宇宙通信部 衛星通信研究室
 衛星通信, 衛星放送
 E-Mail: ohuchi@crl. go. jp



磯部 俊吉
Shunkichi ISOBE
郵政研究所 技術開発研究センター
衛星通信, 離散型シミュレーション
E-Mail: isobe@iptp. go. jp



吉本 繁壽
Shigetoshi YOSHIMOTO
総合通信部 通信系研究室
衛星通信, 移動通信



島田 政明
Masaaki SHIMADA
宇宙開発事業団 軌道上技術開発シス
テム本部 通信放送衛星グループ
通信放送分野の衛星ミッション開発

内藤 秀之
Hideyuki NAITO
標準計測部 測定技術課
無線機器の測定法
E-Mail: naito@crl. go. jp

