

近年、準ミリ波帯 (20~40 GHz) を利用した、基地局間あるいは基地局と加入者局間を結ぶ通信システムが世界的に展開され始めており、送受信機の小型・低価格化、量産化の要求が強まっている。今回、商用化を念頭に置いて、国内実証試験用の26 GHz帯送受信機を開発した。

特に、小型化のために、専用に開発したMMICや誘電体ダイプレクサ<sup>(注1)</sup>を用い、また送受信回路を一体化した。準ミリ波回路には、MMICペアチップを数個入れる準ミリ波マルチチップ パッケージを新たに開発した。

In recent years, submillimeter wave systems such as point-to-multipoint (PTMP) systems have spread throughout the world. To meet the demand for millimeter wave units of smaller size and lower cost, we have developed a compact 26 GHz band RF unit for domestic PTMP systems.

To achieve this compact millimeter wave unit, we developed some specialized monolithic microwave integrated circuits (MMICs) and integrated transmit and receive circuits on one board, and utilized a dielectric diplexer. For submillimeter wave circuits, we adopted multichip packages in which some bare chips (submillimeter wave MMICs) were installed.

## 1 まえがき

インターネットの普及などにより、加入者系の高速な通信回線の実現の要求が強まっており、光ファイバ網や低軌道の周回衛星マルチメディア通信などいろいろなシステムが提案されている。ミリ波や準ミリ波を使った高速無線通信システムもインフラ整備が安価にできる点で注目されており、実際に世界的に展開され始めている。このシステムが広く普及するためには、ミリ波帯送受信機の小型・低価格化、量産化などが重要なポイントとなっている。

今回、国内の加入者無線アクセスPTMP (Point To Multi Point: 一対多 (基地局-加入者局) 間通信) システム用実証試験機として、基地局用および加入者局用26 GHz帯送受信無線機 (以下、RF (Radio Frequency) ユニットと略記) を開発した。

小型化を実現するために、システム全体の最適化を考慮し、無線機の仕様・構成を検討した。これに伴い専用のMMIC (Monolithic Microwave Integrated Circuit) や構成部品を開発し、準ミリ波回路のマルチチップパッケージ化や送受信回路一体化を実現した。

以下に、今回開発したMMICやRFユニットの概要と性能について述べる。

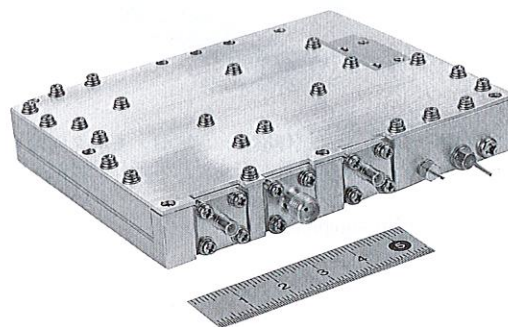


図1. 加入者局用RFユニット (試作機) 送受IF (~L帯), 局発信号 (12 GHz帯), 電源 (+5 V) および送受RF (26 GHz帯, 導波管) の各インタフェースをもつ。外形寸法は75×96×14 mm。  
RF unit for customer premises equipment (CPE)

## 2 RFユニットの概要

加入者局用RFユニットの外観を図1に、ブロック図を図2に示す。実証試験機においては、電源基板 (+24 V → +5 V)、局部発振 (以下、局発と略記) 回路 (12 GHz帯) を別基板で構成し、インタフェースも別々とした。RFユニットは、アンテナとともに屋外に設置される。

基地局用RFユニットを図3に示す。加入者局用との相異点は、周波数関係が送受反転していること、送信電力が若干大きいこと (約65 mW)、送信系RFアンプのオン/オフやALC (Automatic Level Control) など制御・モニタ機能をもつこと、などである。しかし同じ基本構成とし、ほとんどは同じ部品を使用した。

(注1) 送受信回路でアンテナを共用するために用いる部品で、高誘電率の基板を使った共振器で成る組合せで構成されている。

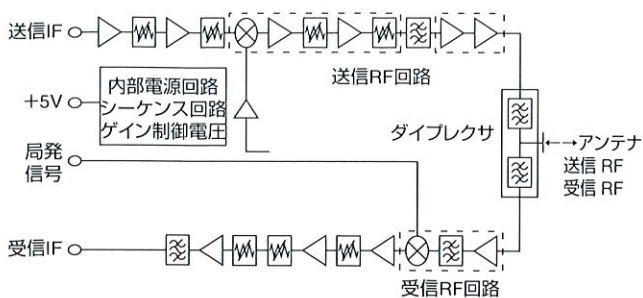


図2. 加入者局用RFユニットのブロック構成 点線内は準ミリ波マルチチップパッケージを示す。加入者局用RFユニットにおいては、送信2個、受信1個の、合計3個のパッケージを使用している。

Configuration of RF unit for CPE

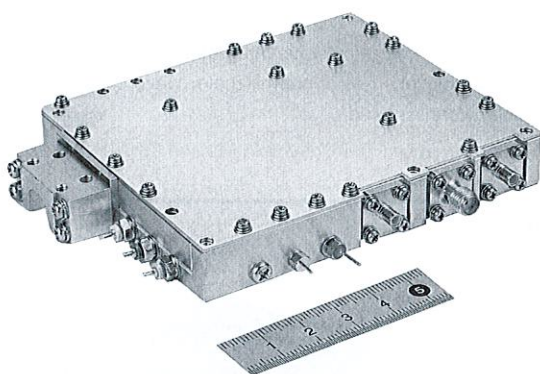


図3. 基地局用RFユニット(試作機) 制御・モニタ回路を含み、若干加入者局用よりも送信出力電力が高い。外形寸法は81×112×14 mm。

RF unit for base station equipment

### 3 RFユニットの設計

#### 3.1 RFユニットの構成

構成のキーとなる周波数変換部は、小型・低価格化を達成するため、シングルコンバージョンとし、局発信号を送受信共通とした。

また、周波数変換部には偶高調波ミキサを採用した。今回のシステム構成は、送信系中間周波数(IF)が低く、通常のみキサでは局発信号の漏れ(局発リーク)を抑制するために高いQ(共振回路の共振の鋭さを表す量)のフィルタが必要となり、大型化する。偶高調波ミキサは、入力した局発周波数の2倍波とIF信号を混合する働きをし、この2倍波がRF出力端において抑圧される特徴をもつため、簡易なフィルタを使うことができる。また、入力する局発信号も12GHz帯で済むため、局発回路が安価に構成できる。偶高調波ミキサが、変換損が大きく出力電力が低いという欠点は、送信系の増幅器の利得を大きくし補っている。

基本的に、全体の利得の調整や温度補償などはIF回路で

行うが、基地局近くに設置される加入者局の送信出力雑音の問題になるため、送信RF回路に可変減衰回路をもたせ、設置時に利得および雑音レベルを可変できるようにした。

準ミリ波帯の素子は、すべて専用設計した当社製MMICを使用した。MMIC化することで、調整をなくし、部品点数を削減した。また、複数個のMMICチップを1個のマルチチップパッケージに収納した。

送受信のRF信号を分離するダイプレクサは、低損失な点で導波管形が優れるが、小型・低価格化を優先して誘電体共振器を用いた<sup>(1)</sup>。

また、送信IF信号の受信IFへの漏れを防ぐため、局発系の分配回路をカップラ(結合器)とバッファアンプの組合せで構成し、受信IFにフィルタを入れる、などの対策を施した。

#### 3.2 RFユニットの構成部品

3.2.1 準ミリ波帯MMIC パワーアンプ、ローノイズアンプ、ミキサ、バッファアンプの4種類のMMICを、RFユニットを構成する各部品の使用される電力レベルであるレベルダイアグラムや構造に合わせて新規開発した。今回のRFユニットで使用したチップセットを図4に、その主な性能を表1に示す。

これらのMMICは、ガリウムヒ素(GaAs)0.35 $\mu$ mゲート長のP-HEMT(Pseudomorphic High Electron Mobility Transistor)構造のMMICである。

パワーアンプは、送信系の最終段に使われる高出力の電力増幅器である。ダブルヘテロ接合型(2層異種半導体接合)HEMT構造にすることで、高出力、低ひずみ、高効率(低消費電力)を達成した。基地局最終段用のJS9S17-ASは、初段(ゲート幅 $W_g=1.6$  mm)、後段( $W_g=3.0$  mm)の2段構成であり、1dB利得圧縮時出力は27dBmである。

ローノイズアンプは、 $W_g=0.1$  mmの3段構成であり、雑音指数(NF)は3.5dB以下である。

ミキサは、送信系はIF信号をRF信号へ変換するアップコンバータ、受信系はRF信号をIF信号へ変換するダウンコンバータに用いられる。今回採用したのはショットキ電極のアンチパラレルダイオードペア( $W_g=0.03$  mm)を用いた偶高調波ミキサで、高い局発信号レベルを必要とするため、局発回路にアンプ( $W_g=0.4$  mm)を入れた構成とした。MMICミキサに必要な局発信号レベルを下げることでRFユニットの全体構成を簡易化した。また、MMICパターンを鏡面対称にした送・受信専用のミキサを開発し、RFユニット全体構成を配置しやすくした。

バッファアンプは、偶高調波ミキサの変換損失が大きく、出力電力が低いために送信RF系利得が不足するのを補うものであり、 $W_g=0.1+0.2$  mmの2段構成である。

3.2.2 準ミリ波パッケージ ベアチップで用いるMMICの信頼性確保のため、ハーメチックシール(気密封止)を施す必要があるが、RFユニットケースでハーメチックシー

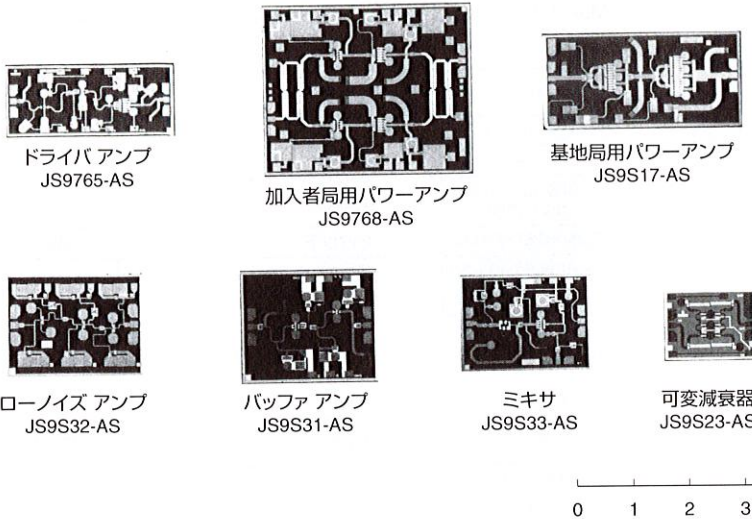


図4. MMICチップセット RFユニットで使用した準ミリ波帯MMICを示す。  
MMIC chip set

表1. MMICチップセットの主な仕様  
Main specifications of MMIC chip set

送信電力増幅器 (バッファアンプ, パワーアンプ)

型名	周波数 (GHz)	P1dB (dBm)	G1dB (dB)	I <sub>ds</sub> (mA)	サイズ (mm)	備考
JS9S31-AS	25~27	3以上	12以上	70以下	1.8×2.4×0.1	
JS9765-AS		21以上	18以上	280以下	1.3×3.1×0.07	
JS9768-AS		23以上	12以上	520以下	3.1×3.8×0.07	加入者局最終段
JS9S17-AS		27以上	14以上	850以下	1.7×3.55×0.07	基地局最終段

P1dB: 1dB利得圧縮時出力 G1dB: 1dB利得圧縮時利得  
I<sub>ds</sub>: ドレイン電流

受信低雑音増幅器 (ローノイズアンプ)

型名	周波数 (GHz)	NF (dB)	利得 (dB)	I <sub>ds</sub> (mA)	サイズ (mm)	備考
JS9S32-AS	25~27	3.5以下	20以上	50以下	1.5×2.4×0.1	

送受信周波数変換ミキサ

型名	RF (GHz)	IF (GHz)	変換損失 (dB)	I <sub>ds</sub> (mA)	サイズ (mm)	備考
JS9S33-AS	25~27	0.4~2	12以下	100以下	2.4×1.8×0.1	局発増幅器込み

可変減衰器

型名	RF (GHz)	可変減衰量 (dB)	変換損失 (dB)	サイズ (mm)	備考
JS9S23-AS	20~30	20以上	2.5以下	1.2×1.7×0.1	

ルすることはコスト高につながる。ベアチップ数個を入れてハーメチックシールが容易にできる、準ミリ波帯マルチチップパッケージを開発した。汎用性を考慮し、RFポート(端子)を4か所設け、電源用ポートも多めに設けた。

また低価格化を考慮し、積層セラミック構造のセラミックウォール型パッケージを採用した。

3.2.3 ダイプレクサ 高誘電率基板でTE010モード(電磁界の共振モード)共振器を作り、金属板で挟んだ構造のものである。小型で、低損失(高Q)、フォトリソグラフィ(写真印刷法)技術により量産性も良く、温度安定性にも優れる特長をもつ。導波管タイプに比較し、挿入損失や減衰量の点で劣るものの、小型・低価格化に大きく寄与する。送受信間隔は855 MHz, 送受信各帯域は180 MHz以上, 送受信アイソレーション(分離度)は55 dB以上, 挿入損失は2.5 dB以下の特性が得られている。

3.2.4 基板 マルチチップパッケージ内は、アルミナセラミック基板を用いた。IF・局発分配回路には、一枚化したPPE(ポリフェニレンエーテル)基板を用いた。回路はすべてマイクロストリップ線路で構成した。

3.3 RFユニット構造

小型化のためには送受回路を一体化、一枚基板化するのが望ましいが、これは送受のアイソレーション確保の点で難しい。アイソレーションが確保できないと、スプリアス(目的とする信号以外の不要波)や出力飽和などの問題が生ずる。また、半導体素子の放熱、バイアス回路との接続も考慮しなければならない。

今回は、金属コア多層基板を採用し、金属コア層をグラウンドおよび放熱板とし、上層にRF回路、下層に直流(DC)制御回路を構成し、スルーホールによってバイアス回路を接続した。マルチチップパッケージは、金属コア部分にねじ止めし、IF・局発分配回路とは、金箔および金線により接続した。

送信, 受信, 局発, アンテナポートは、アイソレーションを確保するためにそれぞれを空間的に分離する必要がある。電磁シールド用のブロックを取り付ける部分は、RF基板に溝を掘って金属コア層を露出させ、導電性ゴムを介してシールドブロック壁を当て付ける構造として、電磁シールド効果を強化した。

## 4 RFユニットの性能

加入者用RFユニットの目標性能および測定結果を表2に示す。目標性能を十分に満足することができ、新規開発したMMICチップセットを含めて十分な特性をもつことを実証した。また、送信系の入出力特性を図5に示す。

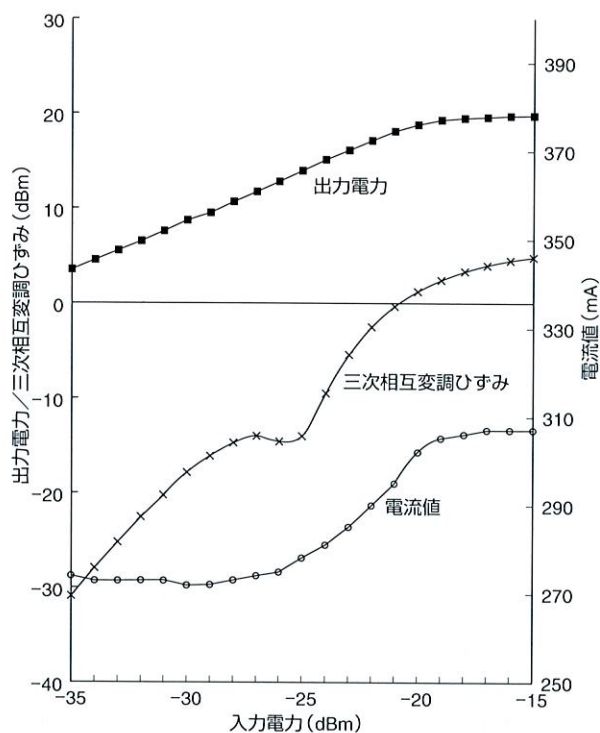


図5. 加入者局用RFユニットの送信系入出力特性 送信系IF信号の入力レベルを変えたときの出力電力、三次相互変調ひずみ、消費電力を示す。なお、消費電力は電源基板 (+24 V→+5 V) も含む。  
Input vs. output characteristics of transmit RF unit for CPE

## 5 あとがき

国内加入者無線アクセスPTMP用準ミリ波RFユニットおよびそれに用いる各種MMICの開発を行い、目標性能を満足した。今後、量産化および低価格化のため、さらなる小型化や高性能化など改良を行い、また、他の周波数への展開を行い、広範な通信システムへの適用を図っていく。

表2. 加入者局用RFユニットの主な目標仕様と測定結果  
Main target specifications and test data of RF unit for CPE

### 送信系

項目	目標性能	測定結果	備考
RF (GHz)	25.45~25.63	同左	
IF (MHz)	490~670	同左	
利得1dB圧縮時出力 (dBm)	18.9以上	19.8	
三次相互変調ひずみ (dBc)	-23.7以下	-25	15.4dBm出力
IF-RF変換利得 (dB)	38±2.5	38	
RF出力VSWR	1.5以下	1.2	
IF入力VSWR	1.5以下	1.4	

VSWR : Voltage Standing Wave Ratio (電圧定在波比)

### 受信系

項目	目標性能	試作結果	備考
RF (GHz)	26.305~26.485	同左	
IF (MHz)	1,345~1,525	1,373	
雑音指数 (dB)	8.0以下	7.6	
RF-IF変換利得 (dB)	37±2.5	36.6	
利得1dB圧縮時出力 (dBm)	-32以上	-28	入力端にて
RF入力VSWR	1.5以下	1.3	
IF出力VSWR	1.5以下	1.4	

## 文献

- (1) 平塚敏朗, 他. "K-band Planar Type Dielectric Resonator Filter with High- $\epsilon$  Ceramic Substrate". IEEE MTT-S Digest, 1998-06, IEEE, 1999, p.1311-1314.



石田 正明 ISHIDA Masaaki

情報・社会システム社 小向工場マイクロ波技術部主務。  
マイクロ波・ミリ波コンポーネントの開発・設計に従事。  
Komukai Operations



柴田 清裕 SHIBATA Kiyoyasu

情報・社会システム社 小向工場 マイクロ波技術部主査。  
マイクロ波・ミリ波コンポーネントの開発・設計に従事。  
電子情報通信学会会員。  
Komukai Operations